



**“REDISEÑO DE UN CUARTO DE MANTENIMIENTO FRESCO PARA
EL MANEJO DE MATERIA PRIMA”**

**INFORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL,
GRADO DE LICENCIATURA**

JUAN CARLOS ARRIETA FUENTES

**CARTAGO, NOVIEMBRE
2014**



- Canadian Engineering Accreditation Board
- Bureau canadien d' accréditation des programmes d' ingénierie

Carrera evaluada y acreditada por:

CEAB

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE Y DE LA EMPRESA.

Nombre: Juan Carlos Arrieta Fuentes.

Cédula: 206040484.

Carné ITCR: 200670564.

Dirección en época lectiva: Diagonal esquina sureste del centro educativo SONY, Cartago.

Dirección en época no lectiva: La Cañada, El Roble, Alajuela.

Teléfono en época lectiva: 85584182.

Teléfono época no lectiva: 85584182 / 24436605.

Email: juankarrieta@gmail.com

Profesor asesor: Ing. Rodolfo Elizondo Hernández.

Información del proyecto.

Nombre del proyecto: Rediseño de un cuarto de mantenimiento fresco para el manejo de materia prima.

Asesor Industrial: Ing. Oscar Pérez Murillo.

Horario de trabajo del estudiante: lunes a viernes, 7:45am a 5:30pm.

Información de la empresa.

Nombre: Refrigeración Industrial BEIRUTE S.A., Costa Rica.

Zona: Paseo Colón, San José, Costa Rica.

Dirección: Del restaurante Pizza Hut del Paseo Colón, 200mts Sur.

Teléfono: 2222-2356 / 2521-6464

Fax: 2222-3570

Apartado: 2728-100 San José, Costa Rica.

Actividad Principal: Diseño de sistemas de refrigeración comercial e Industrial.

DEDICATORIA.

Dedico este proyecto a mi familia, a todos los que me acompañaron en mi periodo de estudiante y sobre todo a Dios por darme la salud, paciencia y fuerza para alcanzar una de mis grandes metas.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco primeramente a Dios por haberme dado la salud y la energía para trabajar por mis sueños, a mi familia que es el pilar que sostiene mi vida y especialmente a mis padres por tener la paciencia necesaria para impulsar mi carrera profesional hasta el día de hoy.

A todos los que estuvieron conmigo durante cada semestre, los que fueron apoyo en los momentos difíciles y compartieron alegrías en los momentos de éxito. A los profesores que se esfuerzan por compartir su conocimiento y nos preparan para afrontar los retos de la vida profesional.

Finalmente, agradezco a la empresa Refrigeración Industrial BEIRUTE por abrirme las puertas de su compañía y permitirme realizar mi práctica profesional; al departamento de ingeniería por su colaboración y especialmente, a los ingenieros Oscar Pérez Murillo y Rodolfo Elizondo Hernández por su paciencia, guía y colaboración durante la realización de este proyecto.

A todos muchas gracias y bendiciones.

TABLA DE CONTENIDO.

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA. ¹	10
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.4 SOLUCIÓN.....	15
1.5 PROCEDIMIENTO.....	16
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 CONCEPTOS.....	17
2.2 PROPIEDADES PARA PROCESOS DE CAMBIO DE FASE.....	22
2.3 CICLO DE CARNOT.....	26
2.4 CICLO INVERSO DE CARNOT.....	28
2.5 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	29
2.6 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	31
2.7 HISTORIA DE LOS REFRIGERANTES ⁴	33
2.8 EL PROTOCOLO DE MONTREAL.....	34
2.9 EFECTOS AMBIENTALES DE LAS SUSTANCIAS REFRIGERANTES ⁵	37
2.10 EL EFECTO INVERNADERO.....	38
2.11 PARA SELECCIONAR REFRIGERANTES.....	40
2.12 NORMATIVA NFPA ⁶	43
CAPÍTULO 3. CARGAS TÉRMICAS ⁷	62
3.1 TEMPERATURA AMBIENTE.....	62
3.2 TEMPERATURA REQUERIDA DENTRO DE LA CÁMARA.....	62
3.3 DIFERENCIAL DE TEMPERATURA.....	62
3.4 APLICACIÓN DE LA CÁMARA.....	63
3.5 PANELES AISLANTES.....	63
3.6 PRODUCTO Y CARGAS ADICIONALES.....	64
CAPITULO 4. PRODUCTO ALMACENADO.....	64
CAPITULO 5. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.....	66
5.1 CARGA POR TRANSMISIÓN.....	66
5.2 CARGA POR CAMBIOS DE AIRE.....	68
5.3 CARGAS MISCELÁNEAS.....	70
5.4 CARGA DEL PRODUCTO.....	73
5.5 CARGA POR RESPIRACIÓN.....	75
5.6 FACTOR DE SEGURIDAD.....	76
CAPÍTULO 6. SELECCIÓN DE EQUIPO.....	77
6.1 EQUIPO Y SISTEMA ACTUAL.....	77
6.2 REFRIGERANTE R-22.....	77
6.3 UBICACIÓN DE EQUIPOS.....	78
6.4 CLASIFICACION DEL TIPO DE EDIFICIO SEGÚN NORMATIVA NFPA ⁸	80
6.5 EQUIPO Y SISTEMA PRESUPUESTADO.....	82

6.6 CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA.....	88
6.7 ELEMENTOS INDIVIDUALES DEL SISTEMA.	91
CAPÍTULO 7. CONSUMO ELÉCTRICO DE EQUIPOS.	122
CAPÍTULO 8. PANELERÍA.	124
CAPÍTULO 9. PRESUPUESTO.	129
CAPÍTULO 10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	131
10.1 VENTAJAS	131
10.2 DESVENTAJAS	131
CAPITULO 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	132
11.1 CONCLUSIONES.....	132
11.2 RECOMENDACIONES.	133
12. BIBLIOGRAFÍA.	134

ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Ilustración 1. Curva de saturación liquido-vapor de una sustancia pura (los valores numéricos son para el agua).</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 2. Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua a presión constante.</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 3. Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua a presión constante de una sustancia pura a diferentes presiones (valores numéricos del agua).</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 4. Diagrama T-v de una sustancia pura.</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 5. Diagrama P-v de una sustancia pura.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 6. Diagrama P-v de un ciclo de Carnot.</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 7. Ejecución de un ciclo de Carnot en un sistema cerrado.</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 8. Diagrama P-v de un ciclo inverso de Carnot.</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 9. Esquema y diagrama T-s (temperatura-entropía) para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 10. Diagrama P-h para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 11. Diagrama T-s para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 12. Comportamiento de la capa de ozono entre 1980 y 2001.</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 13. Comportamiento de la capa de ozono al 2014.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 14. Distribución de las cargas térmicas generadas dentro de la cámara de refrigeración de mantenimiento fresco (Anexo N°1).</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 15. Colocación correcta de la tubería de drenado de los condensados.</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 16. Vista isométrica trasera del cuarto de mantenimiento fresco actual (Anexo 4).</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 17. Unidad condensadora BLV 1501H6.</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 18. Grafica presión contra temperatura de diferentes refrigerantes.</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 19. Esquema de ubicación correcta de evaporadores (concerniente al proyecto).</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 20. Vista isométrica del cuarto de mantenimiento fresco proyectado (Anexo 4).</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 21. Configuración de trampas de succión recomendadas para una unidad condensadora ubicada debajo de la unidad evaporadora.</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 22. Rendimiento del compresor 3DS3R17ME.</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 23. Características mecánicas del compresor 3DS3R17ME.</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 24. Gama de motores BALDOR a prueba de explosiones.</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 25. Características del motor antiexplosiones BALDOR estimado.</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 26. Esquema de conexión de una válvula de expansión térmica.</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 27. Desarme completo de válvula de expansión SPORLAN.</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 28. Dimensiones de válvula de expansión SPORLAN SPE-7.</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 29. Diferentes tipos de filtros deshidratadores.</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 30. Termostato DIXELL.</i>	<i>104</i>

Ilustración 31. Válvula Solenoide SPORLAN E25S270.....	105
Ilustración 32. Ejemplo de tuberías eléctricas herméticas.....	106
Ilustración 33. Conector Myers.....	111
Ilustración 34. Esquema de alturas del recinto.....	114
Ilustración 35. Comportamiento de la luminaria EVIA2500. CROUSE-HINDS.....	116
Ilustración 36. Cálculo del coeficiente de mantenimiento.....	117
Ilustración 37. Ejemplo de luminaria serie EVIA. CROUSE-HINDS.....	119
Ilustración 38. Aislamiento de tubería, “cañuela”.....	120
Ilustración 39. Diagrama del circuito de refrigeración propuesto para un cuarto de mantenimiento fresco para materia prima.....	121
Ilustración 40. Panel aislante marca TERNIUM.....	125
Ilustración 41. Ejemplo de montaje de paredes de un cuarto de mantenimiento fresco.....	126
Ilustración 42. Ejemplo de fijación pasa suspensión de techo.....	127
Ilustración 43. Ejemplo de apuchon para fijación de techo.....	128
Ilustración 44. Distribución de suspensiones de techo.....	128
Ilustración 45. Datos iniciales para el cálculo de carga térmica.....	138
Ilustración 46. Calculo de carga térmica.....	139
Ilustración 47. Calculo de carga térmica y grafica de distribución.....	140
Ilustración 48. Excel de cálculos de consumo eléctrico de equipos de refrigeración.....	141
Ilustración 49. Hoja de Excel empleada para la selección de calibres de cable eléctrico.....	142

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Presión de saturación (ebullición) del agua a distintas temperaturas.....	22
Tabla 3. Etapas de eliminación de HCFC planteada por el protocolo de Montreal.....	35
Tabla 4. PAO Y PCG de Gases Refrigerantes.....	39
Tabla 5. Diferenciales de temperatura recomendados (DT) para diferentes clases de productos alimenticios. Con evaporadores de aire forzado.....	63
Tabla 6. Dimensiones de la cámara.....	66
Tabla 7. Cargas de transmisión de calor en paredes.....	67
Tabla 8. Cargas por transmisión de calor calculadas para el proyecto (Anexo N°1).....	67
Tabla 9. Cambios de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento arriba de 32°F (0°C) debido a la apertura de puertas e infiltración.....	68
Tabla 10. Cambios de aire promedio estimados en 24 horas, para el cuarto de almacenamiento planteado, debido a la apertura de puertas e infiltración (Anexo N°1).....	68
Tabla 11. Calor removido del aire de enfriamiento para cuartos de almacenamiento (BTU por pie3).....	69
Tabla 12. Estimación del calor removido del aire de enfriamiento para cuarto de almacenamiento planteado (BTU por pie3) (Anexo N°1).....	69
Tabla 13. Carga de transmisión por cambios de aire (Anexo N°1).....	69
Tabla 14. Calor generado por la iluminación dentro de la cámara (Anexo N°1).....	70
Tabla 15. Calor equivalente de motores eléctricos.....	71
Tabla 16. Calor generado por motores eléctricos dentro de la cámara (Anexo N°1).....	71
Tabla 17. Factores multiplicativos para determinar la ganancia de calor en un sistema frigorífico por presencia de montacargas.....	72
Tabla 18. Calor generado por montacargas dentro de la cámara.....	72
Tabla 19. Calor equivalente por ocupación.....	72
Tabla 20. Calor generado por personas dentro de la cámara (Anexo N°1).....	73
Tabla 21. Calor total generado por cargas adicionales (Anexo N°1).....	73
Tabla 22. Requerimientos y propiedades de almacenamiento para productos perecederos.....	74
Tabla 23. Carga térmica generada por los productos (Anexo N°1).....	74

Tabla 24. Calor de respiración del producto (Anexo N°1).....	75
Tabla 25. Resumen de carga térmica total de un cuarto de mantenimiento fresco para materia prima de bebidas carbonatadas refrigerado a 44,6 °F (Anexo N°1).	75
Tabla 26. Ganancia o capacidad de enfriamiento total (Anexo N°1).	76
Tabla 27. Ganancia de calor total (Anexo N°1).	76
Tabla 28. Comportamiento de diferentes unidades condensadoras BOHN para las diferentes temperaturas tanto de succión como ambientales.	84
Tabla 29. Composición química del refrigerante R-507.....	86
Tabla 30. Rendimiento del compresor semihermético de disco 3DS3R17ME COPELAND.	93
Tabla 31. Diámetro de tubería recomendado para la línea de líquido.	95
Tabla 32. Diámetro de tubería recomendado para la línea de succión.	95
Tabla 33. Diámetros de conexiones de la unidad condensadora BLV1501H6.	96
Tabla 34. Diámetros de conexiones de la unidad evaporadora GHN 071.2E/212-ANU50.M.....	96
Tabla 35. Tabla de características de diferentes motores BALDOR a prueba de explosiones.	98
Tabla 36. Calibres y tipo de cables usados en el proyecto (Anexo 3).....	106
Tabla 37. Tabla de conduits metálicos rígidos distribuidos por GEDISA.	108
Tabla 38. Dimensiones de condulets para tubería conduit a prueba de explosiones.	108
Tabla 39. Dimensiones de condulets para tubería conduit a prueba de explosiones.	109
Tabla 40. Dimensiones de sellos para tubería conduit a prueba de explosiones.....	110
Tabla 41. Dimensiones de tuercas para tubería conduit a prueba de explosiones.	110
Tabla 42. Tabla con Basic Sru-tite (mayer) para diferentes diámetros.	111
Tabla 43. Tabla con codos conduit para diferentes diámetros.	111
Tabla 44. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades	113
Tabla 45. Ejemplos de coeficientes de reflexión.	115
Tabla 46. Consumo eléctrico actual estimado.	122
Tabla 47. Consumo eléctrico estimado por equipos propuestos.	123
Tabla 48. Características de panelería de techo y paredes.	125
Tabla 49. Tabla costos de equipos de refrigeración seleccionados.	129
Tabla 50. Tabla de costos de algunos de los accesorios seleccionados.	129
Tabla 51. Tabla de costos de algunos materiales de construcción seleccionados.....	130
Tabla 52. Tabla costos de panelería.	130
Tabla 53. Costo total del proyecto.....	130

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Factor multiplicativo ASHRAE para sistemas de iluminación en cuartos refrigerados de uso general.....	70
Ecuación 2. Selección de temperatura de saturación.	83
Ecuación 3. Selección del diferencial de temperatura (DT) requerido.	88
Ecuación 4. Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada.....	113
Ecuación 5. Cálculo de la relación de cavidad de cuartos rectangulares.....	114
Ecuación 6. Cálculo del flujo luminoso total necesario.	117
Ecuación 7. Cálculo del número de luminarias necesarias para una iluminación correcta.	118

RESUMEN

Actualmente la refrigeración juega un papel muy importante en la industria, manejar ambientes con temperatura controlada se convierte en una necesidad para muchos procesos modernos. Un ejemplo claro es el almacenamiento de productos. Este proyecto trata de explicar la metodología empleada para el rediseño de un cuarto de mantenimiento fresco que cumpla con normativas NFPA contra-explosiones (el nombre de la empresa será omitido a petición de la misma).

Se realizará un análisis sobre las condiciones actuales del cuarto refrigerado y se buscará la implementación de mejoras de diseño que permitan un funcionamiento más eficiente y confiable de los equipos de refrigeración. El paso de los años, abonado a un mantenimiento defectuoso ha provocado el deterioro general del sistema, lo que permite observar signos como corrosión, fugas, y sobreesfuerzos tanto en equipos como en la panelería del recinto.

Una consecuencia reciente de este deterioro fue el sobrecalentamiento de uno de los motores de los evaporadores, esto provocó que este se quemara y activara el protocolo contraincendios, trayendo pérdidas millonarias a la empresa.

Bajo este panorama, la propuesta que se realiza es: la evaluación y recalcado de todo el sistema de refrigeración del cuarto de mantenimiento fresco como una opción de mejora en seguridad y eficiencia. El diseño total del cuarto, se presenta como la solución más completa para garantizar la confiabilidad del sistema bajo las exigencias actuales.

Este proyecto mostrará los cálculos de carga térmica, condiciones de operación, selección de equipos, refrigerantes y todos los accesorios que mejor se adapten a los requerimientos buscados.

Palabras Claves: Cámara de mantenimiento fresco, Carga térmica, sistema de refrigeración, condiciones del lugar.

ABSTRACT

Currently cooling plays an important role in the industry, temperature environment controlled managing is becoming a necessity in most of the modern processes an example is the storage of products. The aim of this project is to explain the methodology used to redesign a room of fresh maintenance that meets the NFPA regulations (the company name will be omitted on request it).

An analysis of the current conditions of refrigerated room will be used, and will search for the implementation of design that can improve in a more efficient and reliable operation of the refrigeration equipment.

Through the daily damage of the years; plus a poor maintenance, has led to a general deterioration of the system, that allows to see signs such as corrosion, leaks, and overexertion in the equipment as also in the panel of the inclosure.

A recent consequence of this deterioration was the overheating of one of the evaporator motors, this caused the burned and activate the fire protocol that generates millions in losses to the company.

Under this scenario, the proposal made is: evaluation and recalculation of the entire cooling system maintenance room cool as an option for improving safety and efficiency. The total room design, is presented as the most complete solution to ensure system reliability under the current requirements.

This project will shows the analysis of existing site conditions, thermal load calculations, operating conditions, equipment selection, coolants and all the accessories that best adapt to the desired requirements.

Keywords: Camera fresh maintenance, thermal load, cooling system conditions.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

El rediseño de un sistema de refrigeración para mantenimiento fresco de las materias primas utilizadas en la elaboración de bebidas, es el tema que se desarrollará en el presente informe, tratando de exponer paso a paso la forma en que se lleva a cabo la selección de equipos, accesorios y elementos que componen el sistema.

Se pretende mostrar a claramente cada uno de los cálculos y criterios de selección, que se emplearan en el proceso de solución del problema planteado, obteniendo finalmente un producto terminado, que cumpla con los requerimientos deseados por la empresa cliente.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.¹

1.1.1. Descripción general.

Con más de 60 años en el mercado Refrigeración Industrial BEIRUTE, fundada por el Sr. Carlos Beirute Peralta, es una empresa líder y pionera en la refrigeración industrial en Costa Rica y Centroamérica.

Desde sus inicios en un pequeño garaje reparando electrodomésticos BEIRUTE es sinónimo de calidad y compromiso con la excelencia, plasmando estas características en cada trabajo realizado por la empresa.

1.1.2. Misión. La empresa ofrece a sus clientes las mejores soluciones en el campo de la refrigeración.

1.1.3. Visión.

Ser la empresa líder de refrigeración en Costa Rica y Centroamérica, con capacidad para satisfacer con excelencia y rentabilidad las necesidades de sus clientes y de su personal.

1.1.4. Valores.

- Respeto.
- Lealtad
- Actitud de servicio al cliente externo e interno.
- Discreción.
- Disciplina.
- Ética.

1.1.5. Servicios.

1.1.5.1. Departamento de Ingeniería.

Área dedicada a la atención de proyectos que ofrecen la mejor solución a las necesidades de frío con diseños a la medida y la necesidad de cada cliente. Una de las principales fortalezas de la compañía es la instalación de las marcas que representa por lo que ofrece garantía de fábrica. El equipo humano está conformado por ingenieros y dibujantes, que con el apoyo de las diferentes áreas de la empresa ofrecen soluciones integradas.

1.1.5.2. Taller de Servicio, Mantenimiento Preventivo y Correctivo.

El taller es un complemento a varios departamentos de la empresa, cuyo propósito es el de brindar apoyo y servicio a las áreas de ingeniería y ventas.

Se cuenta con personal especializado, además de maquinaria y equipo que permite la inspección, reparación y montaje de una gran variedad de equipos para refrigeración industrial, comercial y doméstica.

1.1.5.3. Sistemas Constructivos.

La actividad principal del Departamento de Sistemas Constructivos es dar soluciones integradas al mercado de la construcción, a las constructoras y consultoras, entre las cuales se ofrecen las cubiertas de techo, cerramientos, pisos aislados y fachada. Se cumple con cualquier aspecto o requerimiento adicional en la rama de la construcción en general, para así poder ofrecer proyectos del tipo "llave en mano".

Para eso se cuenta con personal altamente capacitado y con amplia experiencia en diseño, cotización e inspección de obras civiles.

¹ Información tomada de la página oficial de la empresa, www.beirute.com.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo General.

- Rediseñar el sistema de refrigeración para un cuarto de mantenimiento fresco, bajo normativas NFPA contra explosiones, con el fin de prevenir accidentes laborales dentro del área de almacenamiento.

1.2.2 Objetivos específicos.

- a. Disminuir el impacto ambiental a través de la utilización de un refrigerante más amigable, de acuerdo con la normativa internacional para la protección del medio ambiente.
- b. Seleccionar evaporadores, motores y accesorios a prueba de explosiones, basándose en normas internacionales NFPA que permitan mejorar la seguridad para el personal que labora en el área de almacenamiento.
- c. Realizar una evaluación de las condiciones actuales del cuarto refrigerado y del tipo de materia prima a almacenar, con el fin de plantear mejoras de diseño en el recinto.
- d. Calcular la carga térmica total del cuarto de almacenamiento refrigerado, basándose en normativa ASHRAE y recomendaciones de los fabricantes de equipos. Esto con el fin de realizar una correcta selección de todos los elementos que componen el sistema de enfriamiento.
- e. Garantizar las condiciones necesarias para el manejo de materia prima existente en el lugar.

1.2.3 Alcances y Limitaciones.

1.2.3.1 Alcances.

- Establecer el buen dimensionamiento de los equipos de acuerdo a las necesidades actuales de la planta.
- Alcanzar un mayor compromiso ambiental a través del cambio de refrigerante.
- Aumentar la seguridad dentro de la planta basándose en la normativa contra explosiones.

1.2.3.2 Limitaciones.

- Debido a la normativa ASHRAE, que es una de las principales guías para la selección e instalación de sistemas de refrigeración en Costa Rica se trabajara con unidades inglesas y no con el sistema internacional de unidades, esto con el objetivo de manejar la terminología utilizada por la industria de la refrigeración.
- No se realizará ningún tipo de estudio del sistema eléctrico, el cuarto se instalara a partir de la acometida brindada por el cliente (0 metros).
- El proyecto no incluye tratamiento de pisos ni de superficies. Tampoco incluye ningún tipo de tratamiento para el producto.
- Solo se presentaran los planos de diseño mecánico que BEIRUTE como empresa apruebe para ser difundidos.
- El nombre de la empresa cliente será omitido a petición de la misma.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

El proyecto surge como consecuencia del fallo de un motor, cuyo humo activó el sistema contra incendios y provocó la evacuación de la planta. Esto sumado a diferentes factores como mal mantenimiento de los sistemas, equipos limitados ante la situación real de la planta y condiciones de seguridad del personal, se justifica la propuesta de rediseño del sistema. Recalculando los equipos y la instalación del cuarto, se pretende no solo prevenir pérdidas innecesarias, sino también maximizar la eficiencia de los equipos y utilizar refrigerantes con menor impacto en el medio ambiente.

La cámara objeto del proyecto tiene dimensiones de 23,45 metros de largo, 11,34 metros de ancho y 7,6 metros de altura. Trabajando a una temperatura de 7 °C para el almacenamiento de la materia prima utilizada para elaborar refrescos carbonatados.

El tipo de producto que se almacenara incluye azúcares y miel de maple que componen una parte importante del producto final.

1.4 SOLUCIÓN.

Como una solución definitiva y buscando como proveedores vender un proyecto completo que garantice las condiciones planteadas por la empresa, se propone el rediseño total del cuarto de mantenimiento frío, cumpliendo normativas NFPA contra-explosiones y garantizando la seguridad del personal, además de la máxima eficiencia de los equipos bajo las condiciones actuales.

1.5 PROCEDIMIENTO.

El diseño de un cuarto refrigerado se puede dividir en etapas, manejadas desde diferentes especialidades técnicas. Se pueden describir de manera general 3 enfoques:

- **Constructivo:** Maneja la parte estructural, panelería, angulares, muretes, sujeciones, etc.
- **Electromecánico:** Trabaja con la selección de equipos, tuberías, aislantes, conexiones eléctricas y sistema refrigerado en general.
- **Administrativo:** Une todos estos elementos y presupuesta un proyecto que cumpla con el mejor precio para el cliente y un margen de ganancia razonable para la empresa.

La secuencia general del trabajo, se distribuye en las siguientes etapas:

1. Recepción de la información del cliente, nombre de la empresa, contactos, teléfonos, correos, etc. Además, de una descripción lo más detallada posible de lo que se desea.
2. Análisis de la información obtenida y de las condiciones ambientales y de producto existentes en el sitio.
3. Cotización de panelería y elementos constructivos de acuerdo a las dimensiones pedidas por el cliente. Esto incluye puertas detalles de piso, paredes y divisiones previamente establecidas.
4. Calculo de cargas térmicas bajo condiciones establecidas.
5. Selección y cotización de los equipos, que cumplan con la carga térmica obtenida.
6. Selección y cotización de tubería, valvulería aislamientos y accesorios que sean necesarios para el sistema.
7. Cotización general de los equipos y la instalación.
8. Análisis final de presupuesto y entrega al cliente del mismo.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS

Antes de avanzar en la temática de refrigeración es importante definir conceptos que son base de estudio en este campo.²

Se define:

- **Refrigeración industrial:** Se puede definir como el conjunto de sistemas (aplicados a la industria), que eliminan el exceso de calor de cualquier medio a través de un intercambio térmico con agua o aire, a fin de reducir y mantener la temperatura de dicho medio en los valores determinados.
- **Circuito de refrigeración:** Combinación de partes interconectadas por las cuales circula refrigerante con el propósito de extraer calor.
- **Mantenimiento Fresco:** Para sistemas refrigerados se considera mantenimiento fresco al manejo de temperaturas sobre los puntos de congelación, entre 32 °F (0°C) hasta temperatura ambiente.
- **Presión:** Energía impactada sobre un unidad de área. Fuerza o empuje sobre un superficie.
- **Presión atmosférica:** Presión que ejerce el aire atmosférico sobre la tierra. Se mide en kPa, lb/pulg², mm de Hg, etc. A nivel del mar tiene un valor de 14,696 lb/pulg².
- **Temperatura:** 1- Magnitud física que refleja la cantidad de calor existente en un cuerpo o en el ambiente, se mide con el termómetro. 2- Medición de la velocidad de movimiento de las moléculas.

- **Temperatura de condensación:** Temperatura dentro de un condensador, en el que el vapor de refrigerante cede calor latente de evaporación y se vuelve líquido. Esta varía con la presión.
- **Temperatura de ebullición:** Temperatura a la cual un líquido cambia a gas.
- **Temperatura de succión:** Temperatura del refrigerante en estado de vapor, existente en la tubería que va desde el evaporador a la entrada del compresor (línea de succión). Para consideraciones de diseño se establece la temperatura de succión como el valor de temperatura existente en la salida del serpentín del evaporador.
- **Calor:** Forma de energía que actúa sobre las sustancias para elevar su temperatura; energía asociada con el movimiento al azar de la moléculas.
- **Humedad relativa (HR):** La cantidad de humedad en una muestra de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura.
- **Punto de congelación:** Temperatura a la cual se solidifica un líquido al removerle calor. La temperatura de congelación del agua es a 32°F (0 °C).
- **Refrigerante:** Sustancia utilizada en los mecanismos de refrigeración para absorber calor, en el evaporador, cambiando de estado líquido a vapor y posteriormente liberando ese calor en el condensador, al regresar de nuevo del estado gaseoso al líquido.
- **Lado de baja:** Partes del sistema de refrigeración que se encuentran por debajo de la presión de evaporación o baja presión.

- **Lado de alta:** Partes del sistema de refrigeración que se encuentran bajo la presión de condensación o alta presión.
- **Intercambiador de calor:** Dispositivo utilizado para transferir calor de una superficie caliente a una menos caliente. Los evaporadores y condensadores son intercambiadores de calor.
- **Cable tipo MI.** Cable con cubierta metálica y aislamiento mineral, diseñado para tener alta resistencia a la temperatura y al agua sin ser difícil de instalar.
- **Tonelada de refrigeración:** Proporción de intercambio de calor de 12000 BTU por hora, 200 BTU por minuto; 3024 kcal/hr.
- **Proceso Isotérmico.** Proceso termodinámico a temperatura constante.
- **Proceso Isobárico.** Proceso termodinámico que ocurre a presión constante.
- **Proceso Isocórico.** Proceso termodinámico que ocurre a volumen constante.
- **Proceso Isentrópico.** Proceso termodinámico en que la entropía del fluido permanece constante.
- **Proceso Adiabático.** Proceso generalmente termodinámico en que el sistema no intercambia calor con su entorno.
- **Deflagración.** Propagación de una combustión a una velocidad menor a la del sonido en el medio que se propaga.
- **Aislamiento.** Mecanismo para evitar que ciertas propiedades de un flujo, se propaguen más allá de un punto definido.

- **Aislamiento de deflagración.** Método que emplea equipos y procedimientos para interrumpir la propagación de un frente de llama de deflagración más allá de un punto.
- **Combustible.** Capaz de experimentar una combustión.
- **Combustión.** Proceso químico de oxidación que se desarrolla a una velocidad suficiente para producir calor y normalmente luz, en forma de llamas incandescentes.
- **Acumulación de presión.** Condición, durante una deflagración, en la que la presión aumenta en el medio en que se propaga por delante de la propagación de la zona de combustión.
- **Explosión.** Liberación repentina y rápida de energía que produce presiones potencialmente dañinas.
- **Gas.** Estado de la materia caracterizado por una movilización molecular total y una expansión limitada; se utiliza como sinónimo del término “vapor”.
- **Oxidante.** Cualquier material gaseoso que puede reaccionar con un combustible (gas, polvo o niebla) para producir una combustión.
- **Mezcla azeotrópica.** Mezcla cuyas fases líquida y gaseosa tiene la misma composición a una temperatura específica. Una mezcla puede ser azeotrópica únicamente a una temperatura. Para efectos prácticos, si al cambiar la temperatura, el cambio en la composición del azeótropo es pequeño, se puede considerar que se trata de un solo fluido y no de una mezcla.

- **Mezcla zeotrópica/no azeotrópica.** Mezcla que manifiesta cambios importantes en las composiciones de vapor y líquido con la temperatura. Se evapora y se condensa dentro de una gama de temperatura. Los cálculos y el diseño de la unidad deben tener esto en cuenta. Se llama también “mezcla de amplios puntos de ebullición”.
- **Higroscopia.** Es la capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante.
- **Material desecante.** Los desecantes son materiales usados principalmente para remover la humedad excesiva contenida en la mezcla refrigerante-aceite, tanto en forma de vapor como líquida, ya sea en equipos nuevos o ensamblados en el campo.

² Definiciones tomadas del “manual de ingeniería” de la marca BOHN, del “manual técnico de refrigeración” de la marca EMERSON, del libro “Termodinámica” de Yunus A. Cengel de la norma NFPA 70 y del lenguaje técnico manejado en la industria de la refrigeración en Costa Rica.

2.2 PROPIEDADES PARA PROCESOS DE CAMBIO DE FASE.

El paso de líquido a gas de las sustancias no está solo definido por la temperatura sino también por la presión a la que es sometida dicha sustancia, es del conocimiento popular que el agua comienza a hervir a 100°C (212°F), sin embargo, en sentido estricto, decir eso es incorrecto pues debe definirse la presión a la que es sometido el fluido. La forma correcta de decirlo sería “el agua hierve a 100 °C (212°F) con 1 atm (101.325 kPa) de presión”. Es decir, la temperatura a la cual comienza a hervir una sustancia varía dependiendo de la presión en que se encuentre.

A una determinada presión, la temperatura a la que una sustancia pura cambia de fase se llama temperatura de saturación, T_{sat} . Del mismo modo, a una temperatura determinada, la presión a la que una sustancia pura cambia de fase se llama presión de saturación, P_{sat} .

Existen tablas que listan estas dos variables (T_{sat} y P_{sat}), disponibles para prácticamente todas las sustancias, de estas se producen los llamados diagramas presión-temperatura con que se analiza el comportamiento termodinámico de las diferentes sustancias.

Tabla 1. Presión de saturación (ebullición) del agua a distintas temperaturas.

Temperatura, $T, ^\circ\text{C}$	Presión de saturación, P_{sat}, kPa
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1 555
250	3 976
300	8 588

Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

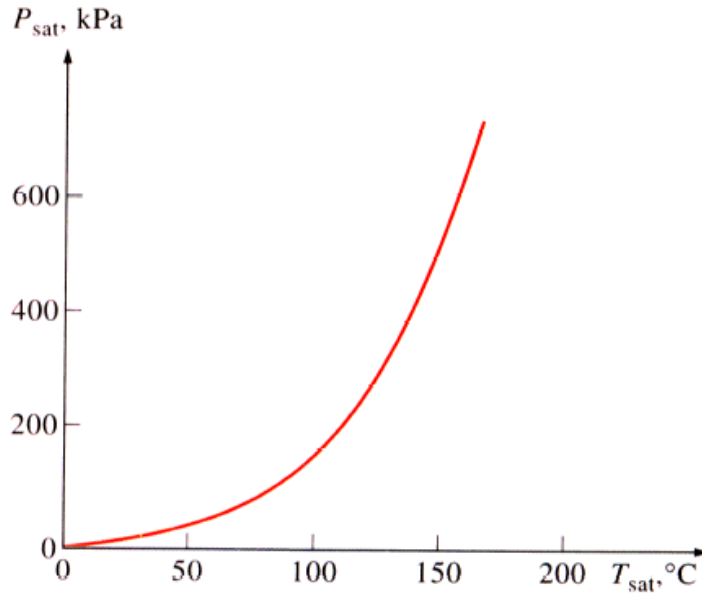


Ilustración 1. Curva de saturación líquido-vapor de una sustancia pura (los valores numéricos son para el agua).
Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

Una vez que empieza la ebullición, el aumento de temperatura se detiene hasta que se evapora todo el líquido. Es decir, si la presión se mantiene constante, durante el proceso de cambio de fase, la temperatura también lo hará. Es fácil comprobar lo anterior al colocar un termómetro en agua pura que hierve sobre una estufa. A nivel del mar ($P=1 \text{ atm}$), el termómetro siempre indicará 100°C (212°F) y el único cambio observable es la presencia de vapor y la disminución constante del nivel de líquido.

Una vez completado, el proceso de cambio de fase se alcanza la región de una sola fase (vapor), en este punto transferir más calor da como resultado un aumento de la temperatura y del volumen específico, ilustrado en los diagramas temperatura-volumen (T-v).

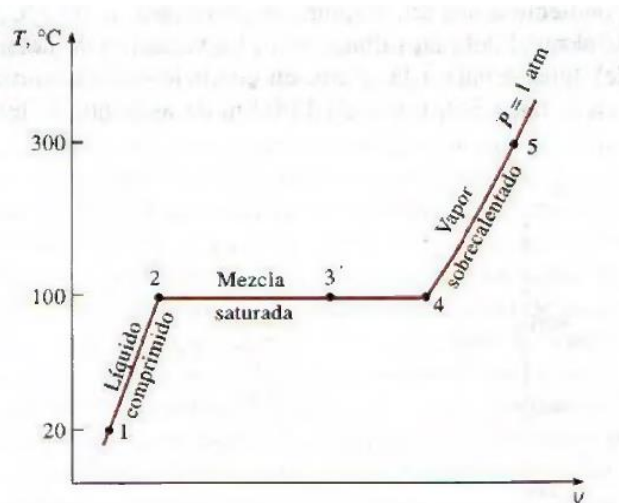


Ilustración 2. Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua a presión constante.
Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

Si todo el proceso anterior se invierte, enfriando el agua mientras se mantiene la presión, el agua volverá al estado 1 (Ilustración 2) siguiendo la misma trayectoria y de esta manera la cantidad de calor liberado corresponderá a la cantidad de calor agregada durante el proceso de calentamiento.

2.2.1 Diagrama T-v

Cuando se grafica el proceso de calentamiento de los fluidos bajo diferentes presiones se pueden notar diferencias marcadas, por ejemplo el volumen específico del líquido saturado y el vapor saturado varían dependiendo de las condiciones del sistema. Se puede apreciar que la horizontal que conecta los estados de líquido y vapor saturados es más corta a más presión y temperatura.

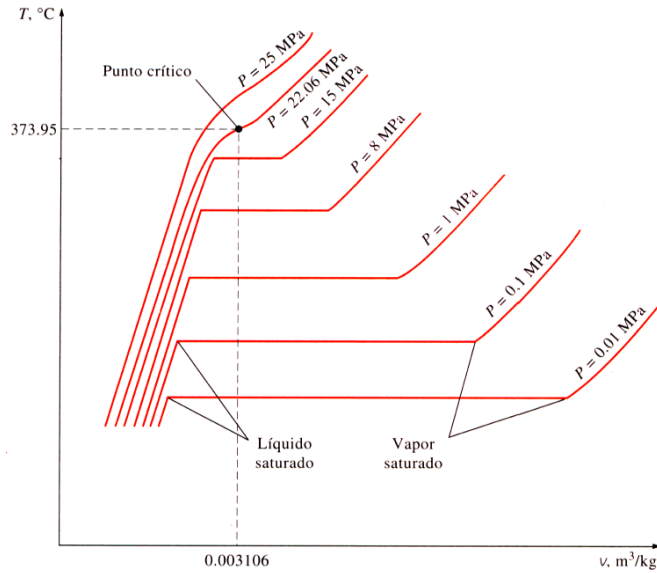


Ilustración 3. Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua a presión constante de una sustancia pura a diferentes presiones (valores numéricos del agua).

Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

El agua sigue el mismo comportamiento, a medida que aumenta la presión, la línea de saturación se acorta (Figura 3) y se convierte en un punto cuando la presión alcanza el valor de 22,06 MPa. Este punto es llamado punto crítico y se define como el punto en el que los estados de líquido saturado y vapor saturado son idénticos.

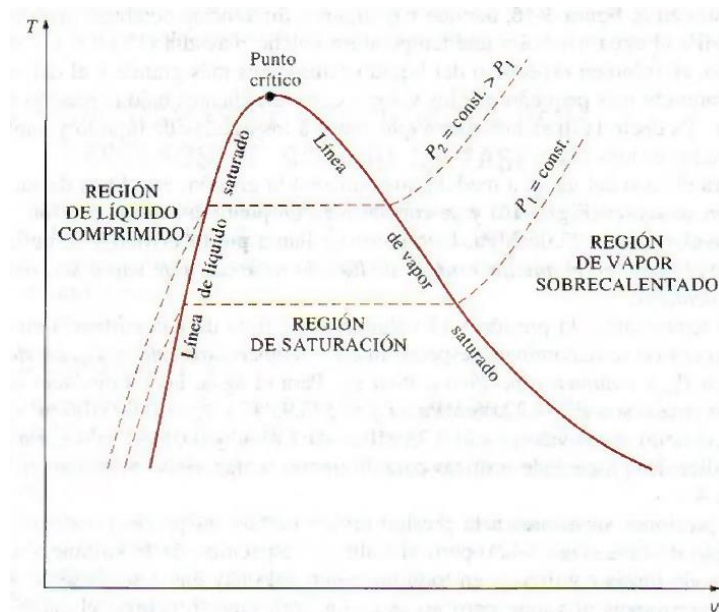


Ilustración 4. Diagrama T-v de una sustancia pura.

Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

2.2.2 Diagrama P-v

La forma general del diagrama presión-volumen específico (P-v) de una sustancia pura es similar a la del diagrama T-v, pero las líneas de T constante en este diagrama presentan una tendencia hacia abajo, como se muestra:

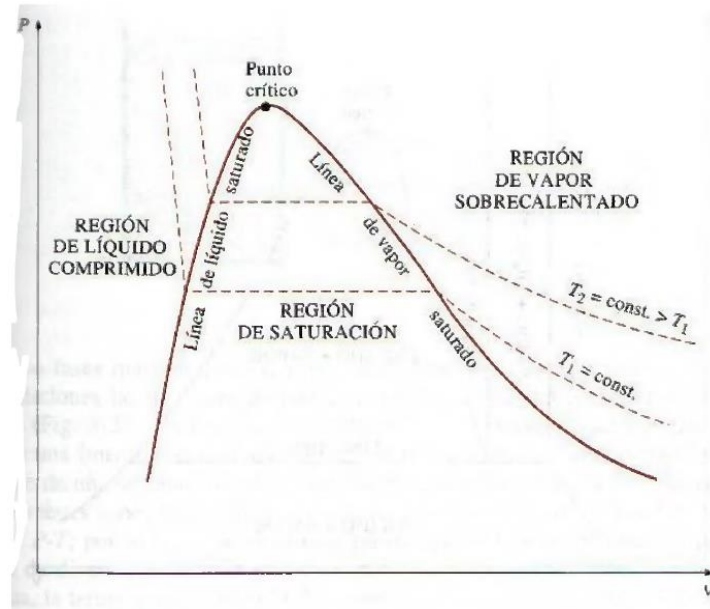


Ilustración 5. Diagrama P-v de una sustancia pura.

Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

A medida que disminuye la presión, el volumen de la sustancia aumenta un poco. Durante el proceso de evaporación, tanto la temperatura como la presión permanecen constantes, pero el volumen específico aumenta. Una vez evaporada toda la sustancia, la reducción adicional de presión produce otro aumento en el volumen específico.

2.3 CICLO DE CARNOT

Las máquinas térmicas son dispositivos cíclicos donde un fluido pasa por diferentes cambios de estado para realizar un trabajo. Durante una parte del ciclo el fluido realiza trabajo y durante otra se hace trabajo sobre el mismo. La diferencia entre estos 2 trabajos es el trabajo neto que entrega la máquina. La eficiencia máxima de una máquina térmica se da cuando recibe una mínima cantidad de

trabajo y entrega lo más posible, esto dependerá en gran medida de cómo se ejecute cada proceso que contribuye al ciclo.

Una eficiencia de 100% no es algo real en ninguna máquina térmica debido a la irreversibilidad de los procesos, sin embargo se estudian los ciclos ideales (completamente reversibles) con el fin de determinar los límites superiores en máquinas reales.

Es probable que el ciclo reversible más conocido sea el ciclo de Carnot propuesto en 1824 por Sadi Carnot, también llamado la “máquina térmica de Carnot”. Se define como un proceso cíclico reversible que utiliza un gas perfecto, y que consta de dos transformaciones isotérmicas y dos adiabáticas.

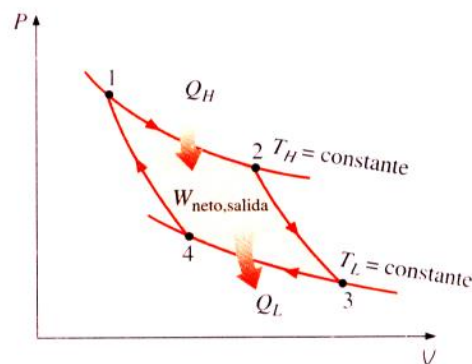


Ilustración 6. Diagrama P-v de un ciclo de Carnot.
Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

El ciclo de Carnot se compone de 4 procesos que se llevan a cabo en un sistema cerrado o de flujo estacionario. Se describen a continuación por medio de un ejemplo cilindro embolo:

- Expansión isotérmica reversible: Proceso 1-2 (T_H constante). El gas absorbe una cantidad de calor Q_H , y tiende a expandirse lentamente y realizar trabajo a los alrededores.
- Expansión adiabática reversible: Proceso 2-3 (temperatura disminuye de T_H a T_L). El gas se enfría hasta alcanzar T_L , se elimina la fuente de calor y se

coloca un aislamiento, además se sigue dando una expansión lenta del gas realizando trabajo en los alrededores.

- Compresión isotérmica reversible: Proceso 3-4 (T_L constante). Se retira el aislamiento y se coloca el sistema en contacto con un sumidero a temperatura T_L . El gas cede una cantidad de calor Q_L , sin variar la temperatura y las fuerzas externas tienden a empujar lentamente el embolo realizando un trabajo sobre el gas.
- Compresión adiabática reversible: Proceso 4-1 (temperatura sube de T_L a T_H). Se elimina el depósito de baja temperatura se coloca el aislamiento, el gas se calienta hasta alcanzar T_H mientras se realiza trabajo sobre él, y se cierra el ciclo volviendo al estado inicial.

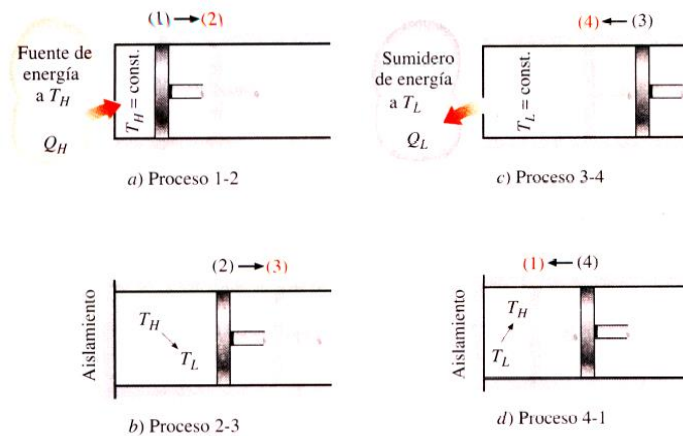


Ilustración 7. Ejecución de un ciclo de Carnot en un sistema cerrado.
Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

El área bajo las curvas (ilustración 6) representa el trabajo, sobre cada proceso del sistema y el área encerrada por el ciclo (1,2,3,4,1) representa el trabajo neto realizado durante el mismo.

2.4 CICLO INVERSO DE CARNOT

El ciclo anteriormente descrito es totalmente reversible por lo que invertir los procesos da como resultado el “ciclo de refrigeración de Carnot”. El ciclo es el mismo con la diferencia de que las direcciones de las interacciones de calor y trabajo están

invertidas. El calor Q_L se absorbe del depósito de baja temperatura y el calor Q_H se rechaza hacia el depósito de alta temperatura. Esto con un requerimiento de trabajo ($W_{\text{neto, entrada}}$), para completar el ciclo.

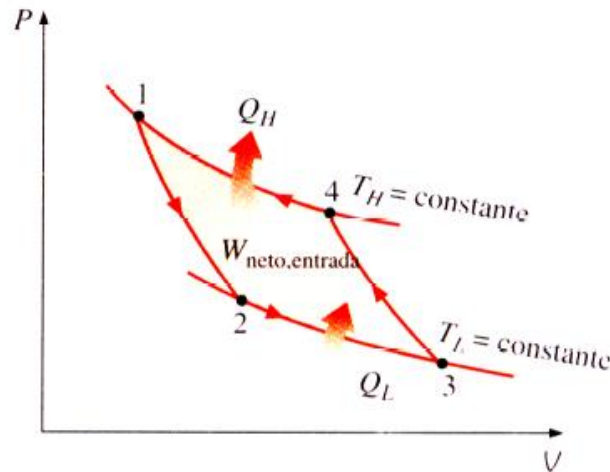


Ilustración 8. Diagrama P-v de un ciclo inverso de Carnot.
 Fuente: *Termodinámica, Yunus A. Cengel.*

2.5 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Realizando algunos cambios en el ciclo inverso de Carnot, como sustituir la turbina por un dispositivo de estrangulamiento, traen como resultado el “ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor” siendo este el más utilizado en sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor. Se compone de 4 procesos:

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

El refrigerante entra al compresor como vapor saturado (estado 1) y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante aumenta durante el proceso de compresión isentrópica hasta un valor bastante superior al de la temperatura del medio circundante. Después el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido

saturado en el estado 3 (ilustración 9), como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores. La temperatura del refrigerante en este estado se mantendrá por encima de la temperatura de los alrededores.

El refrigerante líquido saturado en el estado 3 se estrangula hasta la presión del evaporador al pasarlo por una válvula de expansión o por un tubo capilar. La temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante este proceso. El refrigerante entra al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio refrigerado. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando el ciclo.

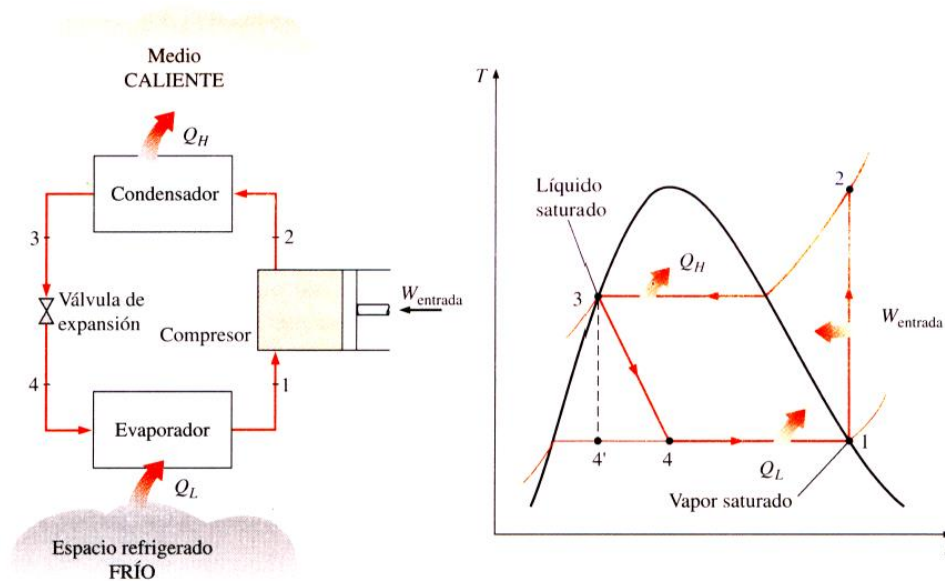


Ilustración 9. Esquema y diagrama T-s (temperatura-entropía) para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

Otro diagrama utilizado con frecuencia en el análisis de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor es el diagrama P-h (presión –entalpía) en este diagrama tres de las cuatro líneas son rectas y la transferencia de calor es proporcional a la longitud de la curva del proceso correspondiente.

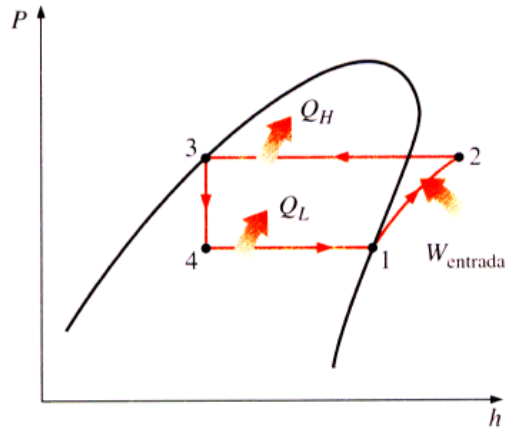


Ilustración 10. Diagrama P-h para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.
Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

Cabe destacar que la diferencia en los ciclos ideales descritos radica en la existencia de un proceso irreversible (estrangulamiento), esto hace que el modelo a seguir sea más realista.

2.6 CICLO REAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

La diferencia del ciclo real con el ciclo ideal se da en varios aspectos, principalmente debido a las irreversibilidades en los diferentes procesos. La fricción del fluido y la transferencia de calor a los alrededores son dos de estas irreversibilidades.

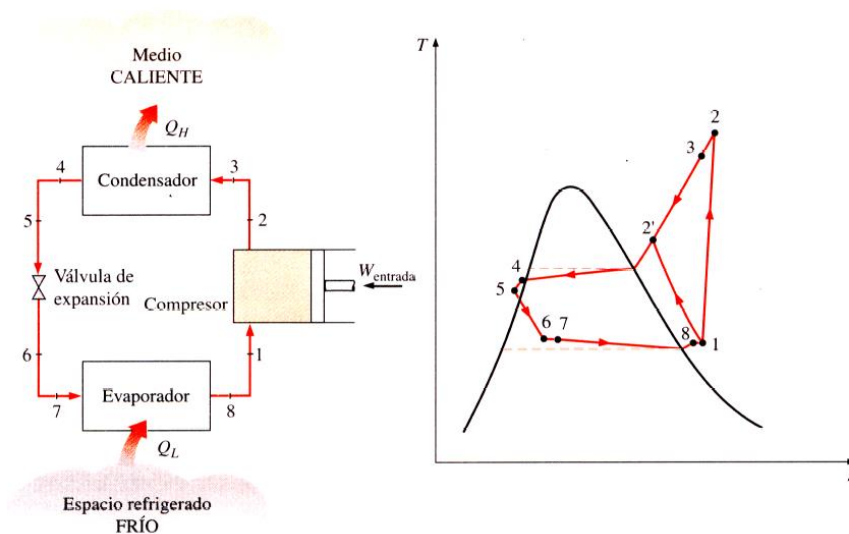


Ilustración 11. Diagrama T-s para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.
Fuente: Termodinámica, Yunus A. Cengel.

En el ciclo ideal el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado mientras que en la realidad eso no sucede, controlar el refrigerante con

tanta precisión es difícil por lo que se sobrecalienta el gas para evitar la presencia de algún líquido en el compresor que pueda causar daños en el mismo. La línea que conecta el evaporador con el compresor puede ocasionar, dependiendo de su longitud, pérdidas por fricción y transferencia de calor a los alrededores, siendo este un factor a considerar.

El proceso de compresión en un ciclo ideal es internamente reversible y adiabático y por ende, isentropico. Sin embargo, el proceso real incluirá efectos de fricción los cuales aumentan la entropía y la transferencia de calor, esto puede afectar el proceso (1–2) durante la compresión dependiendo del predominio de los efectos.

En el caso ideal se espera que el refrigerante salga como líquido saturado del condensador a la presión de salida del mismo. En realidad es inevitable tener cierta caída de presión en el condensador, así como en las líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento.

Estos son algunos de los efectos que evitan una eficiencia del 100%, y que deben ser tomados en cuenta en los diseños de refrigeración actuales, volviéndose un reto para la mejora continua en el diseño de equipos y sistemas refrigerados.

³ Las secciones 2.2 a 2.6 son tomadas del libro "Termodinámica" de Yunus A. Cengel.

2.7 HISTORIA DE LOS REFRIGERANTES⁴

El éter etílico fue el primer refrigerante usado para el comercio de sistemas de refrigeración, alrededor del año 1850, posteriormente apareció el amoníaco, dióxido de carbono, cloruro metílico, dióxido de azufre, butano, etano entre otros.

Para la época, el sector comercial encuentra la satisfacción de muchas de sus necesidades de refrigeración en el amoníaco que posee ventajas importantes sobre otros refrigerantes como: su bajo costo, menores costos energéticos, mayor facilidad para el transporte, coeficientes de transferencia de calor más altos (intercambiadores de calor más pequeños, menos costos), mayor detectabilidad en caso de fugas y ningún efecto en la capa de ozono. Sin embargo su toxicidad para el ser humano limita su utilización ya que su uso doméstico se vuelve peligroso.

Así entonces para la década de los 20`s surge la necesidad de crear un refrigerante de uso doméstico, debido a los serios accidentes con saldos mortales que se dieron en la época. La toxicidad de los refrigerantes provocó la prohibición de los mismos en sistemas de refrigeración caseros. Esto llevó a que en 1928 los laboratorios de investigación de General Motors (a solicitud de Frigidaire Corporation), crearán el refrigerante R-21, el primer miembro de la familia de refrigerantes CFC (clorofluorocarbonados). De varios CFC desarrollados, el equipo de refrigeración eligió el R-12 como el más adecuado para uso comercial, y se le dio a la familia CFC al nombre de "freón". La producción comercial de R-11 y R-12 se inició en 1931 y rápidamente se convirtieron en los preferidos del público, debido a su versatilidad y bajo costo. Posteriormente el R-22 se estableció como una de las principales competencias del amoníaco, evolucionando a través de mezclas como el R-502.

A mitad de la década de los años 70`s se reconoce que los CFC permitían más radiación ultravioleta en la superficie terrestre, ya que destruyen la capa de ozono y contribuyen al efecto invernadero que provoca el calentamiento global. Con la crisis del ozono, diversos tratados internacionales prohíben el uso de los CFC`s debido a sus características negativas para el futuro de la humanidad.

Para el diseño actual de sistemas frigoríficos, existe variedad de refrigerantes en el mercado como amoníaco, hidrocarburos (propano, etano, polietileno, etc), dióxido de carbono, aire (en acondicionamiento de aire de aviones) e incluso agua en aplicaciones arriba del punto de congelación. La selección adecuada depende de las condiciones específicas de cada proyecto, sin embargo, los problemas ambientales que afronta la humanidad han limitado el uso de refrigerantes con impacto ambiental, esto con el objetivo de mitigar los efectos negativos que la refrigeración trae al planeta.

2.8 EL PROTOCOLO DE MONTREAL

Debido al daño que provoca el uso de sustancias agotadoras de ozono en diferentes aplicaciones, la comunidad mundial adoptó una serie de medidas acordadas en el Protocolo de Montreal que se firmó en septiembre de 1987. Originalmente el documento fue firmado por 24 países y la Comunidad Económica Europea, sin embargo, debido a la importancia que han tomado los temas ambientales hoy en día el protocolo tiene la firma todos los países del mundo.

El Protocolo de Montreal establece reducciones graduales en el uso de las SAOs (sustancias que agotan la capa de ozono) hasta su eliminación total, separando claramente los países desarrollados de los países en vías de desarrollo ya que su problemática es muy distinta y por consecuencia los calendarios de eliminación tendrían que ser diferentes.

Tabla 2. Regulación original de las SAO`s de acuerdo al protocolo de Montreal

Sustancia Agotadora de la capa de Ozono	Listadas en el Anexo-Grupo del Protocolo de Montreal	Línea Base	Compromiso de Reducción
CFCs	A-I	Consumo promedio de los años 1995-1997	50% a partir de 2005 85% a partir de 2007 100% a partir de 2010
Halones	A-II	Consumo promedio de los años 1995-1997	50% a partir de 2005 100% a partir de 2010
Bromuro de Metilo	E-I	Consumo promedio de los años 1995-1998	20% a partir de 2005 100% a partir de 2015
Otros CFCs	B-I	Consumo promedio de los años 1998-2000	20% a partir de 2003 85% a partir de 2007 100% a partir de 2010
HCFCs	C-I	Consumo promedio del año 2015	100% a partir de 2040

Fuente: Manual de Buenas Practicas en Refrigeración. SEAM.

La tabla muestra el acuerdo original de la eliminación paulatina de los HCFC`s en los países clasificados en vías de desarrollo. Posteriormente se han realizado algunas modificaciones o “enmiendas” en el acuerdo original, con las que se han modificado fechas de eliminación teniendo en cuenta las dificultades que se enfrentan en países en vías de desarrollo

Con la enmienda de Copenhague, se aprueba un nuevo ajuste al Protocolo de Montreal relativo al cronograma de eliminación para los HCFC estableciendo la línea base en función de los consumos en los años 2009 y 2010. Se adoptó un nuevo calendario con eliminaciones parciales a partir del año 2015, como se indica en el siguiente cronograma.

Tabla 2. Etapas de eliminación de HCFC planteada por el protocolo de Montreal.

AÑO	ACCION
2009-2010	(1) Establece línea base. Año 2013 el promedio.
2013-2014	Congelado
2015	Reducción 10% de (1)
2020	Reducción 35% de (1)
2025	Reducción 67,5% de (1)
2030 - 2040	Eliminación total.

Fuente: Refrigerantes alternativos para los procesos de sustitución de las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Guía para técnicos. MINAET.

En la actualidad no se producen CFC's desde el 2010 y se espera la eliminación de los HFC's para el 2050 siguiendo la tendencia mundial de migrar hacia el uso de refrigerantes naturales como el amoníaco, agua, HC's y CO₂.

Costa Rica realiza grandes esfuerzos por cumplir los plazos establecidos en el protocolo y sus enmiendas. A través del Ministerio de Ambiente, Energía y Mares de Costa Rica (MINAET) que busca concientizar a la industria nacional sobre la importancia del cambio de refrigerantes y así honrar los acuerdos alcanzados a nivel mundial.

⁴ Información recopilada del libro "Termodinámica", Yunus A. Cengel, del documento, "refrigerantes alternativos para los procesos de sustitución de las sustancias agotadoras de la capa de ozono", MINAET, y del "Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración", SEAM.

2.9 EFECTOS AMBIENTALES DE LAS SUSTANCIAS REFRIGERANTES⁵

Las sustancias que contribuyen al deterioro de la capa de ozono son aquellas en cuya composición molecular se encuentran átomos de cloro y bromo y que logran entrar en contacto con el ozono estratosférico. Los compuestos clorofluorocarbonados e hidroc fluorocarbonados (HCFC`s) son parte de esas sustancias.

Al liberarse estos gases y con las corrientes atmosféricas de aire se generan grandes concentraciones de monóxido de cloro en el polo sur provocando el llamado “agujero” en la capa de ozono.

La importancia de la concentración del ozono estratosférico se basa en el bloqueo que realiza al impedir la radiación ultravioleta tipo B que es altamente perjudicial sobre la salud de los seres vivos. Las unidades de medida para monitorear la capa de ozono se llaman Dobson y equivalen a 0,01 milímetros. Para medir el impacto de las sustancias sobre la atmósfera se utiliza el término “potencial de agotamiento de ozono” (PAO).

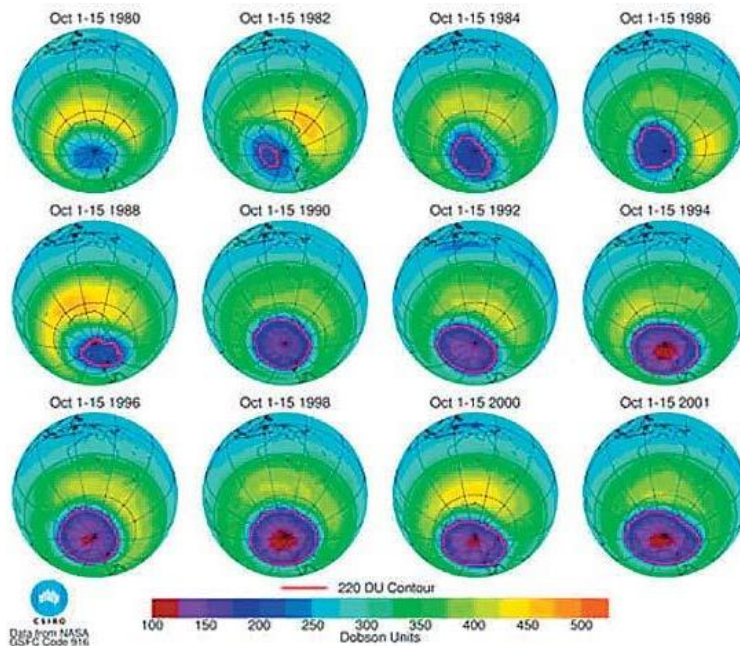


Ilustración 12. Comportamiento de la capa de ozono entre 1980 y 2001.

Fuente: CSIRO Atmospheric Research, Data NASA GSFC code 916.

20 October 2014

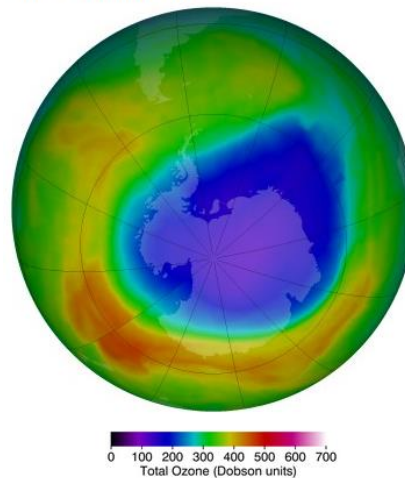


Ilustración 13. Comportamiento de la capa de ozono al 2014.

Fuente: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>.

2.10 EL EFECTO INVERNADERO

De todas las capas que tiene la atmósfera, solo en la más baja, llamada troposfera, hay clima. Esto debido a que en ella está contenida toda el agua atmosférica constituyendo nubes, precipitación, heladas, etcétera.

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol. El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂), proveniente del uso de combustibles fósiles, ha provocado la intensificación del fenómeno y el consecuente aumento de la temperatura global, el derretimiento de los hielos polares y el aumento del nivel de los océanos, ya que el calentamiento mayor se da en las latitudes altas.

Los gases traza (GT) de la atmósfera son numerosos, sobresaliendo el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos (CFCs). Los CFCs son conocidos por destruir la capa de ozono (O₃) estratosférica, que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta, como ya se vio, pero también son responsables del efecto invernadero.

Alrededor del 70% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra es devuelta al espacio. Pero parte de la radiación infrarroja es retenida por los gases que producen el efecto invernadero, y se queda en la superficie terrestre.

Como resultado del efecto invernadero, la Tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta. De no existir ese efecto, las fluctuaciones climáticas serían intolerables. Sin embargo, una pequeña variación en el delicado balance de la temperatura global puede causar estragos. En los últimos 100 años la Tierra ha registrado un aumento de entre 0.4 y 0.8°C en su temperatura promedio, lo que causa preocupación y obliga a la industria a minimizar su impacto en el equilibrio atmosférico.

Tabla 3. PAO Y PCG de Gases Refrigerantes.

Refrigerante No. ASHRAE	Marca	Potencial de Agotamiento de Ozono *	Potencial de Calentamiento Global. Horizonte a 100 Años **	Años de vida en la atmósfera ***
CFCs				
R-11		1.000	4600	45.0
R-12		0.820	10600	100.0
R-13		1.000	14000	640.0
R-113		.900	6000	85.0
R-114		0.850	9800	300.0
R-115		0.400	7200	1700.0
HCFCs				
R-22		0.034	1700	11.9
R-123		0.012	120	1.4
R-124		0.026	620	6.1
R-141b		0.086	700	9.3
R-142b		0.043	2400	19.0
HFCs				
AZEÓTROPOS				
R-500		0.605	7900	
R-502		0.221	4500	
R-503		0.599	13000	
R-507A		0	3900	
R-508A		0	12000	
R-508B		0	12000	

Fuente: Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado. ONUDI.

El PCG (Potencial de Calentamiento Global): define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂ está basado en un tiempo horizonte de 100 años, por ejemplo la emisión de 1 Kg. de R-22 es equivalente a la emisión de 1700 Kg. de CO₂.

Con lo anterior (tabla 4), se observa que con la evolución de los refrigerantes se logra eliminar el PAO en algunos HFC's pero sigue estando presente el potencial de calentamiento global (GWP), convirtiéndose en un reto para la industria de la refrigeración buscar soluciones que permitan refrigerantes con 0 impacto negativo en la atmósfera.

2.11 PARA SELECCIONAR REFRIGERANTES

Para la selección de refrigerantes en equipos ya sea usados o nuevos se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Características ambientales del refrigerante: Duración del refrigerante en la atmósfera. Se define como el tiempo necesario para eliminar el 60% de un gas. Para los principales gases que contienen cloro y bromo este periodo de tiempo oscila entre 1 a 100 años. El índice que compara el efecto del recalentamiento en un lapso de tiempo para diferentes gases con respecto a emisiones iguales de CO₂ (por peso) se conoce como "poder de calentamiento global" (GWP).
- Seguridad del refrigerante: Nivel de toxicidad, nivel de inflamabilidad.
- Características termodinámicas y físicas: Baja temperatura de ebullición, alto calor latente de evaporación, bajo punto de congelación, alta temperatura crítica.
- Compatibilidad con los elementos y materiales del sistema.
- Disponibilidad en el mercado.
- Costo
- Capacidad y conocimiento técnico del personal.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones se deben conocer los procedimientos adecuados para implementar el sistema. El proceso de carga de refrigerante se divide en dos procedimientos habituales que son los siguientes:

Carga en fase líquida por el sector de alta presión: Consiste en introducir el refrigerante directamente desde la botella de carga hasta el recipiente de líquido de la instalación frigorífica. Este procedimiento presenta la ventaja de efectuar la carga en muy poco tiempo, pues aprovecha el vacío reinante en la instalación.

Carga en fase vapor por el sector de baja presión: Consiste en introducir el refrigerante aprovechando la aspiración del compresor, el cual deberá estar en marcha durante la operación de carga. Este procedimiento presenta el inconveniente de ser muy lento, ya que la aspiración del compresor produce una bajada importante de presión en la botella de carga, impidiendo la salida del refrigerante. Para evitarlo se hace necesario calentar la botella, bien esperando a que adquiera la temperatura ambiente o bien mediante resistencias adecuadas (nunca con llamas o resistencias directas).

Dependiendo del tipo y la cantidad de refrigerante a introducir, el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas establece dos procedimientos, que en nuestro caso se concretarían así:

- El R-404A (refrigerante azeotrópico equivalente al R-507a) se carga siempre en fase líquida por el sector de alta.
- El R-134a (refrigerante puro) puede ser cargado en fase líquida por el sector de alta si la carga es inferior a 3 kg, en caso contrario deberá ser cargado en fase de vapor por la aspiración.

Los niveles de inflamabilidad y toxicidad están clasificados según la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés) en 6 grupos, identificados por una letra y un número: A1, A2, A3,

B1, B2 y B3, donde el grupo A1 se refiere a los refrigerantes menos peligrosos y el grupo B3 a los más peligrosos.

El significado de este código se describe como:

- ✓ Nivel A: Toxicidad no identificada.
- ✓ Nivel B: Evidencia de toxicidad.
- ✓ Nivel 1: No hay propagación de flama en aire a 18°C y 101kPa de presión.
- ✓ Nivel 2: Limite de inflamabilidad más bajo, mayor a 0,10a Kg/m³ a 21°C y a 101kPa, calor de combustión menor a 19000 kJ/kg.
- ✓ Nivel 3: Alta inflamabilidad, límite menor o igual a 0,10 Kg/m³ a 21°C y 101 kPa, calor de combustión mayor o igual a 19000 kJ/kg.

Para manipular sustancias refrigerantes es recomendado utilizar todas las medidas de seguridad (guantes, anteojos) necesarias para minimizar lesiones en la piel y ojos.

⁵ Información extraída del manual "refrigerantes alternativos para los procesos de sustitución de las sustancias agotadoras de la capa de ozono". MINAET.

2.12NORMATIVA NFPA⁶

La National Fire Protection Association –NFPA- de los EE.UU. comenzó su actividad en materia de seguridad contra incendios en 1896. Durante sus más de 100 años de existencia ha realizado una labor pionera y fundamental, especialmente en lo concerniente a publicaciones en diferentes variantes, entre estas: guías, libros, códigos, estándares, etc.

En el mundo de habla hispana, la Asociación de Investigación para la Seguridad de Vidas y Bienes –CEPREVEN- de España se esfuerza en aprovechar esta experiencia, traducir y divulgar estos documentos en beneficio de los técnicos que en el presente y en el futuro trabajan o pueden trabajar en esta materia, de tal modo que puedan hacerlo en lengua española.

Esta cooperación está orientada a incrementar los niveles de conocimiento en materia de seguridad contra incendios de los profesionales hispanoparlantes, al considerar que las técnicas con que los expertos han de tratar para impedir o minimizar los daños que las explosiones y los incendios pueden producir, son universales.

Con la utilización de estas normativas se esperan excelentes resultados en materia de seguridad y prevención de incendios haciendo conciencia en los profesionales responsables de la importancia de anticipar cualquier catástrofe o pérdida material innecesaria.

Se transcriben a continuación las secciones de interés de la normativa contra explosiones (NFPA).

2.13 NORMA NFPA 69

2.13.1 Origen y desarrollo de la norma NFPA 69

En 1965, se constituyó un comité de NFPA para desarrollar estándares sobre sistemas de protección contra explosiones. Estos documentos incluían información para prevenir explosiones y alivios para reducir al mínimo los daños procedentes de una explosión.

En la reunión anual NFPA, celebrada en la ciudad de Nueva York en mayo de 1969, se presentó un primer borrador sobre sistemas de prevención de explosiones. Este documento fue aceptado oficialmente en mayo de 1970. Fue revisada en 1973 y confirmada en 1978.

En 1982 el comité de sistemas de protección contra explosiones inicio una revisión en profundidad del NFPA 69, incluyendo el desarrollo de un capítulo sobre la técnica de confinamiento de la presión de deflagración. Los resultados de estos trabajos dieron lugar a la edición de 1986.

La edición de 1992 incorporó un capítulo nuevo sobre sistemas de aislamiento de la deflagración. Se realizaron modificaciones parciales para precisar definiciones, mejorar descripciones sobre las técnicas de reducción de concentración de oxidante, mejorar el contenido sobre supresión de deflagraciones, así como lo referente al confinamiento de la presión de deflagración.

La edición de 1997 incluye una reorganización y actualización de los aspectos técnicos a fin de mejorar su aplicación.

En el 2002 la edición NFPA 69 incluyó nueva información sobre la detección de chispas y diseño de sistemas de extinción. Se reorganizaron los métodos de protección según su jerarquía en el grado de prevención de explosiones.

Para el 2008 se incorpora una revisión completa del estándar que incluye una opción basada en prestaciones además de los métodos existentes de prevención de explosiones. Se agregan nuevos capítulos sobre supresión pasiva y mantenimiento, instalación e inspección de sistemas, en un concepto de seguridad integral.

2.13.2 Generalidades de la norma.

Este estándar describe los requisitos mínimos para la instalación de sistemas de prevención de explosiones en recintos que contengan concentraciones inflamables de gases, vapores, nieblas, o mezclas híbridas inflamables.

Se aporta información básica para ingenieros de diseño, personal de operación y autoridades competentes. Estos métodos no interferirán con la operación del sistema validado.

En general los sistemas de prevención de explosiones se utilizan para proteger procesos, almacenamientos y equipos de manipulación de materiales. Cuando las técnicas de prevención de explosiones se aplican a recintos, edificios u otros espacios ocupados por personas deberá tenerse en consideración la seguridad de dicho personal.

2.13.3 Diseño de sistemas de protección

El propietario u operador será responsable de un análisis exhaustivo del proceso para determinar el tipo y grado de los riesgos de deflagración inherentes al proceso. El propietario u operador deberá revelar toda la información de proceso necesaria para el diseño del sistema de protección.

El propietario u operador será el responsable del mantenimiento del sistema tras la instalación y la aceptación sobre la base de los procedimientos previstos por el vendedor.

2.13.4 Instalación eléctrica.

Todos los equipos e instalaciones eléctricos deberán cumplir con los requisitos NFPA 70, Código Eléctrico Nacional.

Los terminales y conexiones deben estar protegidos de la humedad y otros contaminantes. Los cableados de circuitos de entrada y salida de control deberán estar aislados, blindados y protegidos de otros cables para evitar posibles corrientes inducidas.

Un circuito de señalización de línea no podrá ser utilizado por más de un sistema de prevención ni compartido con otros sistemas.

2.13.5 Cableado.

El cableado para los sistemas de prevención de explosiones deberá estar aislado de los cables de otras instalaciones. Se deberán instalar accesorios de sellado en todas las cajas de conexiones de todos los sensores, actuadores y cualquier dispositivo para proporcionar protección contra humedad y contaminantes.

2.14 NORMA NFPA 70

2.14.1. Historia y desarrollo del Código Eléctrico Nacional

La National Fire Protection Association ha actuado como promotor del Código Eléctrico Nacional desde 1911. El documento del Código original se desarrolló en 1897 como resultado de los esfuerzos unidos de diferentes sectores de seguros, electricidad, arquitectura e intereses vinculados.

En junio de 1997 se publicó un reporte de propuestas del comité del código eléctrico nacional que contenía las enmiendas propuestas para el código eléctrico nacional de 1996. Este reporte registró las acciones de los diferentes paneles de

elaboración del código sobre cada propuesta efectuada para, actualizar el documento de 1996.

La NFPA publicó el reporte de comentarios del comité del código eléctrico nacional en abril de 1998. Posteriormente han existido nuevas ediciones del código buscando la actualización y la mejora constante de sus artículos hasta llegar a su última edición en 2014.

2.14.2. Artículos 501 a 504 – Inmuebles especiales.

Un cuarto refrigerado es una construcción con características especiales en donde se aplican los artículos del 501 al 504 sobre los requisitos del alambrado y equipos eléctricos y electrónicos para cualquier tensión, instalados donde pueda existir riesgo de incendio o explosión debido a la presencia de gases o vapores inflamables, líquidos inflamables, polvo combustible o fibras o partículas combustibles.

2.14.3 Generalidades de la norma.

2.14.3.1 Clasificaciones de lugares. Los lugares se deben clasificar dependiendo de las propiedades de los vapores, líquidos o gases inflamables y los polvos o fibras combustibles que pueda haber en ellos y por la posibilidad de que se produzcan concentraciones o cantidades inflamables o combustibles. Cuando los únicos materiales utilizados o manipulados en estos lugares sean pirofóricos, estos lugares no deben ser clasificados.

2.14.4 CLASIFICACION DE AREAS PELIGROSAS

Las áreas peligrosas dentro de un recinto se pueden dividir en 3 clases:

- Clase I, donde puede existir presencia de gases y vapores inflamables.
- Clase II, donde pueden existir riesgos de incendio o explosión debido a polvo combustible.

- Clase III, donde pueda existir peligro por presencia de fibras o partículas combustibles.

2.14.4.1 Clasificación por grupos en la Clase I:

2.14.4.1.1 Grupo A. Compuesto únicamente por el gas acetileno.

2.14.4.1.2 Grupo B. Gas inflamable, vapor producido por un líquido inflamable, o vapor producido por un líquido combustible mezclado con aire que puede arder o explotar, que posee un valor de distancia segura experimental máxima (MESG) menor o igual a 0.45 mm, o un cociente de corriente de ignición mínima (relación MIC) menor o igual a 0.40. Un ejemplo el hidrogeno.

2.14.4.1.3 Grupo C. Gas inflamable, vapor producido por un líquido inflamable, o vapor producido por un líquido combustible mezclado con aire que puede arder o explotar, que posee un valor de distancia segura experimental máxima (MESG) mayor o igual a 0,45 mm y menor o igual a 0,75 mm, o una relación de corriente de ignición mínima (relación MIC), mayor de 0,40 y menor o igual a 0,80.

Un material típico del grupo C, Clase I, es el etileno.

2.14.4.1.4 Grupo D. Gas inflamable, vapor producido por un líquido inflamable, o vapor producido por un líquido combustible mezclado con aire que puede arder o explotar, que posee un valor de distancia segura experimental máxima (MESG) mayor de 0.75 mm, o una relación de corriente de ignición mínima (relación MIC), mayor de 0,80. Un material típico de la Clase I, grupo D, es el propano.

Las características de explosión de las mezclas de aire con gases o vapores varían según el material específico involucrado. Para los lugares Clase I, grupos A, B, C y D, la clasificación supone la determinación de la presión máxima de explosión y de la distancia máxima de seguridad entre las partes de las juntas ajustadas en un encerramiento. Por tanto, es necesario que los equipos estén aprobados no sólo

para la clase, sino también para el grupo de gases o vapores específicos que estarán presentes.

2.14.4.2 Clasificación por grupos en la Clase II:

2.14.4.2.1 Grupo E. Atmósferas que contengan polvos metálicos combustibles, incluidos aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales u otros polvos combustibles de partículas cuyo tamaño de partícula, abrasividad y conductividad presenten riesgos similares en el uso de equipos eléctricos.

2.14.4.2.2 Grupo F. Atmósferas que contengan polvos carbonosos combustibles que tengan más del 8% total de partículas volátiles atrapadas, o que han sido sensibilizados por otros materiales, de manera que presentan peligro de explosión. Los polvos de carbón, negro de humo, carbón vegetal y coque son ejemplos de polvos carbonosos.

2.14.4.2.3 Grupo G. Atmósferas que contengan polvos combustibles no incluidos en los Grupos E o F, incluidos: harina, cereales, madera, plástico y químicos.

Los equipos seleccionados deben estar aprobados no sólo para la clase de lugar correspondiente, sino también para las propiedades explosivas, combustibles o de ignición del vapor, gas, polvo, fibra o partículas específicas que estarán presentes.

Además, los equipos de Clase I no deben tener ninguna superficie expuesta que opere por encima de la temperatura de ignición del gas o vapor específicos.

Si no se especifica otra cosa, se debe suponer que las condiciones de operación normales de los motores son las de funcionamiento estable de plena carga nominal. Cuando haya o pueda haber presentes, al mismo tiempo, gases inflamables y polvos combustibles, se debe considerar la presencia simultánea de ambos elementos para establecer la temperatura de operación segura del equipo eléctrico.

2.14.5 Clasificación por divisiones.

Para el proyecto planteado se establece la clasificación como división 1 como se describe.

2.14.5.1 Clase I, División 1. Un lugar Clase I, División 1, es un lugar:

- En el cual, bajo condiciones normales de funcionamiento, pueden existir concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables.
- En el cual, debido a operaciones de reparación o mantenimiento o a fugas, pueden existir frecuentemente concentraciones inflamables de dichos gases o vapores.
- En el cual la falla o funcionamiento defectuoso de equipos o procesos que pueden liberar concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables y simultáneamente pueden causar una falla en el equipo eléctrico de manera que provoque directamente que el equipo eléctrico se convierta en una fuente de ignición.

Esta clasificación incluye usualmente los siguientes lugares:

- (1) Lugares en los que se transvasan líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables.
- (2) El interior de cabinas de aplicación por rociado y áreas en los alrededores de los lugares donde se realizan operaciones de pintura y rociado con uso de disolventes volátiles inflamables.
- (3) Lugares que contienen tanques o recipientes abiertos con líquidos volátiles inflamables.

- (4) Las cámaras o compartimentos de secado para la evaporación de disolventes inflamables.
- (5) Lugares en los que se encuentran equipos de extracción de grasas y aceites, que utilizan disolventes volátiles inflamables.
- (6) Secciones de plantas de limpieza y tinturado en las que se utilizan líquidos inflamables.
- (7) Cuartos de generadores de gases y otras áreas de plantas de producción de gases en las que se puedan producir fugas de gases inflamables.
- (8) Cuartos de bombas de gases inflamables o líquidos volátiles inflamables que estén inadecuadamente ventilados.
- (9) El interior de refrigeradores y congeladores en los que se guardan materiales volátiles inflamables en recipientes abiertos, ligeramente tapados o que se puedan romper.
- (10) Todos los demás lugares donde exista la probabilidad de que se produzcan concentraciones combustibles de vapores o gases inflamables durante su funcionamiento normal.

2.14.6 Artículo 501 — Lugares Clase I

2.14.6.1 Alcance. El artículo 501 cubre los requisitos de los equipos eléctricos y electrónicos y alambrado a todas las tensiones en lugares clasificados como de Clase I, División 1 y 2 en donde pueden existir riesgos de incendio o explosión debido a gases inflamables, o vapores o líquidos combustibles.

2.14.6.2 Generalidades. Las reglas generales de este Código se deben aplicar al alambrado y equipo eléctrico en lugares clasificados como de Clase I.

2.14.6.3 Métodos de alambrado. Los métodos de alambrado deben cumplir los siguientes requisitos (a) y (b):

2.14.6.3.1 Alambrado fijo. En los lugares Clase I, División 1, se debe usar el método de alambrado en conduit metálico rígido roscado, conduit intermedio de acero roscado, o cables tipo MI con accesorios terminales aprobados para esos lugares.

Todas las cajas, accesorios y juntas deben estar roscados para conectarlos al conduit o terminaciones de los cables y deben ser a prueba de explosión. Las juntas roscadas deben tener por lo menos cinco hilos completamente introducidos. Los cables tipo MI se deben instalar y apoyar de modo que se eviten esfuerzos de tensión en los accesorios terminales.

Excepción No.1: En instalaciones subterráneas cuando se utilice conduit rígido no metálico, se debe usar conduit metálico rígido roscado o conduit intermedio roscado de acero para las últimas 600 mm (24 pulgadas) del tramo subterráneo hasta que salga de la tierra o hasta el punto de conexión con la canalización que vaya sobre el suelo. Se debe incluir un conductor de puesta a tierra de los equipos para dar continuidad eléctrica al sistema de canalizaciones y para poner a tierra las partes metálicas no portadoras de corriente.

Excepción No.2: En establecimientos industriales con acceso restringido al público, cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión garanticen que sólo acceden a la instalación personas calificadas, se permitirá utilizar cables tipo MC certificados para su uso en lugares Clase I, División 1, con un forro continuo de aluminio corrugado hermético al gas y al vapor, una chaqueta externa de un material

polimérico adecuado, conductores de puesta a tierra y equipados con accesorios terminales certificados para esa aplicación.

Excepción No. 3: En establecimientos industriales con acceso restringido al público, cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado atenderá las instalaciones, se permitirá el uso de cable tipo ITC certificado para uso en lugares Clase I, División 1, con una cubierta continua de aluminio corrugado hermética al gas y al vapor y chaqueta exterior adecuada de material polimérico, y accesorios terminales certificados para esa aplicación.

2.14.6.3.2 Conexiones flexibles. Cuando sea necesario emplear conexiones flexibles, como en los terminales de motores, se deben utilizar accesorios flexibles certificados para lugares Clase I.

2.14.6.4 Cajas y accesorios: Todas las cajas y accesorios usadas deben ser aprobadas para lugares clase I, división I.

2.14.6.5 Sellado y drenaje. El compuesto sellante debe ser de un tipo aprobado para las condiciones y uso correspondientes. Se debe aplicar sellante a los accesorios terminales de los cables tipo MI para evitar que entre humedad o algún líquido en el aislamiento del cable.

Los sellos se utilizan en los sistemas de conduit y cables para reducir al mínimo el paso de gases y vapores y evitar el posible paso de llamas de una parte de la instalación eléctrica a otra a través del conduit. El paso de vapores a través del cable tipo MI se evita en forma inherente gracias a su construcción. Las temperaturas extremas y los líquidos y vapores muy corrosivos pueden afectar la capacidad del sello para cumplir su función.

Los sellos de sistemas de conduit y cables deben cumplir las siguientes disposiciones.

2.14.6.5.1 Sellos de conduit, Clase I, División 1.

En lugares Clase I, División 1, los sellos de conduit se deben colocar como se indica a continuación:

En cada entrada de conduit a un encerramiento o envolvente a prueba de explosión, en donde dicho encerramiento alberga aparatos tales como interruptores, interruptores automáticos, fusibles, relés o resistencias que puedan producir arcos eléctricos, chispas o altas temperaturas que se consideren como una fuente de ignición en condiciones normales de funcionamiento.

No se exigirán sellos para conduit a envolventes que cumplan con las siguientes condiciones:

- (a) Están envueltos dentro de una cámara sellada herméticamente contra la entrada de gases o vapores.
- (b) Sumergidos en aceite.
- (c) Encerrados en una cámara a prueba de explosión sellada en fábrica dentro de un encerramiento aprobado para ese lugar y rotulado con las palabras "sellado en fábrica" o equivalente.
- (d) Estén en circuitos no incendiarios.

No se debe considerar que los envolventes sellados en fábrica sirvan como sello para otro envolvente a prueba de explosión adyacente que se exige que tenga un sello del conduit.

Entre los accesorios de sellado y el envolvente a prueba de explosión sólo se permitirán uniones a prueba de explosión, acoples reductores, codos y cuerpos conduit similares.

2.14.6.6 Límite de la clase I, división I:

En cada tramo de conduit que salga del lugar de clase I división I. se permitirá que el accesorio de sellado esté ubicado en cualquiera de los dos lados del límite de dicho lugar, a una distancia no mayor de 3,05 m (10 pies) de dicho límite y debe estar diseñado e instalado para reducir al mínimo la cantidad de gas o vapor dentro de la porción de conduit de la división I, no debe haber uniones, acoples, cajas ni accesorios, excepto los reductores listados a prueba de explosión en el sello del conduit.

Excepción No.1: No se exigirá sellar los tubos conduit metálicos que no contengan uniones, acoples, cajas o accesorios que atraviesen completamente un lugar de Clase I, División 2 y que no tengan accesorios a menos de 310 mm (12 pulgadas) después de cada límite, si los puntos de terminación de los conduits continuos están en lugares no clasificados.

2.14.6.7 Clase I, Divisiones 1 y 2. Donde se requieran sellos en los lugares Clase I, Divisiones 1 y 2, deben cumplir con lo siguiente:

2.14.6.7.1 Accesorios: Los envolventes para conexiones o equipos deben tener medios integrales aprobados para el sello o se deben utilizar accesorios de sellado aprobados para el lugar. Deben ser accesibles.

2.14.6.7.2 Compuesto. El compuesto debe proporcionar un sellamiento contra el paso de gases o vapores a través de accesorios de sellado, no debe ser afectado por la atmósfera o los líquidos circundantes, y su punto de fusión no debe ser inferior a 93°C (200°F).

2.14.6.7.3 Espesor del compuesto. En un sello terminado, el espesor mínimo del compuesto sellante no debe ser menor al diámetro comercial del accesorio sellado y en ningún caso menor de 16 mm (5/8 de pulgada).

2.14.6.7.4 Empalmes y derivaciones. No se deben hacer empalmes ni derivaciones en accesorios proyectados únicamente para sellamiento con compuesto, y los accesorios en los que se hayan hecho empalmes y conexiones no se deben rellenar con sellante.

2.14.6.7.5 Ensamblajes. En un ensamble en el que los equipos que puedan producir arcos, chispas o altas temperaturas estén ubicados en un compartimiento independiente del que contenga los empalmes o derivaciones y exista un sello integral por donde los conductores pasan de un compartimiento al otro, todo el conjunto debe estar identificado para el lugar.

2.14.6.7.6 Relleno de los conductores. El área de la sección transversal de todos los conductores permitidos en un sello no debe exceder el 25% del área de la sección transversal del conduit metálico rígido del mismo diámetro comercial, a menos que esté aprobado específicamente para un porcentaje de ocupación mayor.

2.14.6.8 Sellos para cables en lugares Clase I, División 1.

2.14.6.8.1 Terminaciones: El cable debe estar sellado en todas sus terminaciones. Los cables multi-conductores tipo MC-HL con forro de aluminio corrugado continuo hermético a los gases y vapores y chaqueta externa de un material polímero adecuado, se deben sellar con un accesorio aprobado, después de quitar la chaqueta y cualquier otro recubrimiento, de modo que el compuesto sellante rodee a cada conductor individual aislado, para reducir al mínimo el paso de gases y vapores.

Excepción: No se exigirá remover el material del blindaje de los cables blindados ni la separación de los cables de pares trenzados, siempre que la terminación esté hecha por medios aprobados para reducir al mínimo la entrada de gases o vapores y evitar la propagación de llama dentro del núcleo del cable.

2.14.6.9 Cables capaces para transmitir gases o vapores: En los lugares División 1, los cables en conduit con un forro continuo hermético a los gases y vapores, a

través de cuyo núcleo central se puedan transmitir gases y vapores, se deben sellar después de quitar la chaqueta y cualquier otro recubrimiento, de modo que el compuesto sellante rodee a cada conductor individual aislado y a la chaqueta externa.

Excepción: Los cables multi-conductores con un forro continuo hermético a los gases y vapores, a través de cuyo núcleo central se puedan transmitir gases y vapores, se pueden considerar como un solo conductor, sellando el cable en el conduit a una distancia no mayor de 460 mm (18 pulgadas) del encerramiento y el extremo del cable dentro del encerramiento por un medio aprobado para reducir al mínimo la entrada de gases o vapores e impedir la propagación de las llamas dentro del núcleo del cable, o por otros métodos aprobados. Para cables blindados y de pares trenzados no se exigirá quitar el material de blindaje o separar el par trenzado.

2.14.6.10 Cables no capaces para transmitir gases o vapores: Si el cable no es capaz para transmitir gases o vapores a través de su núcleo central, cada cable multi-conductor en conduit se debe considerar como un solo conductor.

2.14.6.11 Partes expuestas sin aislar en lugares clase I, divisiones 1 y 2. No debe haber partes expuestas no aisladas tales como conductores eléctricos, barras conductoras, terminales o componentes que funcionen a más de 30 voltios (15 voltios en lugares mojados). Estas partes se deben proteger además con una técnica de protección adecuada de acuerdo al lugar.

2.14.6.12 Puestas a tierra y unión en lugares clase I, divisiones 1 y 2. El alambrado y el equipo en lugares clase I, divisiones 1 y 2 deben estar puestos a tierra según se especifica en el código eléctrico nacional.

2.14.6.12.1 Tipos de conductores de puesta a tierra de equipos. Los conduits metálicos flexibles o conduits metálicos flexibles herméticos a los líquidos no se deben usar como la única trayectoria de corriente de falla a tierra. Cuando se

instalan puentes de unión se debe respetar el código eléctrico nacional (sección 250.102).

2.14.6.13 Medidores, instrumentos y relés.

2.14.6.13.1 Clase I, División 1. En los lugares Clase I, División 1 los instrumentos de medida, instrumentos y relés, incluidos los medidores de kilovatio-hora, los transformadores para instrumentos, las resistencias, rectificadores y tubos termoiónicos, deben estar dotados de encerramientos aprobados para lugares Clase I, División 1.

2.14.6.14 Interruptores, interruptores automáticos, controladores de motores y fusibles.

2.14.6.14.1 Clase I, división I. Los interruptores, interruptores automáticos, controladores de motores y fusibles, incluidos los pulsadores, relés y dispositivos similares instalados en lugares clase I división 1, deben estar equipados con envolventes y en cada caso el envoltente y los aparatos que contenga deben estar identificados como un ensamble completo para uso en lugares clase I.

2.14.6.15 Fusibles. Se permitirá instalar fusibles normales de tapón o de cartucho para la protección de los motores, electrodomésticos y lámparas, diferentes de lo establecido anteriormente, siempre que se instalen dentro de envolventes de propósito general.

2.14.6.16 Motores y generadores.

2.14.6.16.1 Clase I, División 1. Los motores, generadores y otras máquinas eléctricas rotatorias en lugares clase I división 1 deben:

- Estar identificados para lugares Clase I, división 1.

- Ser del tipo totalmente encerrado, con ventilación de presión positiva desde una fuente de aire limpio con salida a un área segura y estar dispuestos de modo que se impida energizar la máquina hasta que la ventilación haya sido establecida y el encerramiento haya sido purgado mínimo con 10 volúmenes de aire y también dispuestos para desenergizar automáticamente el equipo cuando el suministro de aire falle.
- Ser de tipo totalmente encerrado lleno de gas inerte, dotado con una fuente confiable y adecuada de gas inerte para presurizar el encerramiento, con elementos provistos para asegurar una presión positiva en el encerramiento y dispuestos para desenergizar automáticamente el equipo cuando el suministro de gas falle.
- Ser de un tipo diseñado para funcionar sumergido en un líquido que sólo sea inflamable cuando se vaporice y se mezcle con el aire, o en un gas o vapor a una presión mayor que la atmosférica y que sean inflamables únicamente cuando se mezclen con el aire; y que la máquina esté dispuesta de modo que no se pueda energizar hasta que haya sido purgada con el líquido o el gas para desplazar el aire, y que además se desenergice automáticamente el equipo cuando se interrumpa el suministro de líquido, gas o vapor, o su presión se reduzca hasta la presión atmosférica.

Los motores totalmente cerrados no deben tener superficies externas cuya temperatura de operación en grados Celsius exceda el 80% de la temperatura de ignición de los gases o vapores involucrados.

2.14.6.17 Luminarias. Cada luminaria debe estar aprobado como un ensamble completo para lugares Clase I, División 1 y debe llevar marcada claramente la máxima potencia en watts de la lámpara, para la cual está identificada. Las

luminarias se deben proteger contra daños físicos, bien sea por su ubicación o mediante la utilización de protección adecuada.

2.14.6.18 Marcado.

Los equipos aprobados se deben marcar con la clase, grupo y temperatura o intervalo de temperaturas de funcionamiento referenciado para un ambiente a 40°C.

Excepción No. 1: No se exigirá que lleven marcada la temperatura o intervalo de temperatura de funcionamiento los equipos que no generen calor, como las cajas de empalme, conduit y accesorios, y los que produzcan calor con una temperatura máxima no superior a 100°C (212°F).

Excepción No. 2: No se exigirá que los accesorios fijos de alumbrado marcados exclusivamente para lugares Clase I, División 1 ó Clase I, División 2, lleven marcado el grupo.

Excepción No. 3: No se exigirá que los equipos fijos de propósito general en lugares Clase I, distintos de los artefactos fijos de alumbrado, que sean aceptables para su uso en lugares Clase I, División 2, lleven marcada la clase, grupo, división o temperatura de funcionamiento.

Excepción No. 4: No se exigirá que lleven marcada la clase, grupo, división o temperatura de funcionamiento los equipos fijos herméticos al polvo, distintos de los artefactos fijos de alumbrado, que sean aceptables para su uso en lugares Clase I, División 2 y Clase III.

Excepción No. 5: Los equipos eléctricos adecuados para funcionar a temperatura ambiente superiores a 40°C (104°F) deben ir marcados con la temperatura ambiente máxima y además con la temperatura o intervalo de temperatura de funcionamiento a esa temperatura ambiente.

Los equipos aprobados para lugares Clase I y Clase II deben ir rotulados con la temperatura de operación segura máxima, determinada por la exposición simultánea a las combinaciones de las condiciones para Clase I y Clase II.

Como no existe relación directa entre las propiedades de explosión y la temperatura de ignición, estos dos requisitos son independientes.

⁶ Norma NFPA 70 tomada de la página oficial de normativa NFPA (<http://www.nfpa.org/>).

CAPÍTULO 3. CARGAS TÉRMICAS 7.

Se podría definir la carga térmica como la cantidad de calor que debe ser retirado de un lugar para reducir o mantener la temperatura en un valor deseado. Para diseñar un cuarto refrigerado debe estimarse el calor que debe ser removido del lugar. El cálculo correcto de cargas térmicas es el primer paso para una buena selección de equipos en sistemas frigoríficos. Para lograr este objetivo es necesario realizar un estudio de las condiciones tanto internas como externas del proyecto a realizar. Un estudio completo permitirá pronosticar con mayor exactitud la carga térmica de una necesidad de refrigeración específica. Tomando en cuenta esto se deben tener presentes los siguientes factores:

3.1 TEMPERATURA AMBIENTE.

Es la temperatura existente en los alrededores de la cámara. Se debe considerar también la medición de este valor cerca de la unidad condensadora.

3.2 TEMPERATURA REQUERIDA DENTRO DE LA CÁMARA

Es la temperatura deseada por el cliente. Es determinada de acuerdo al producto y la aplicación que se requiera.

3.3 DIFERENCIAL DE TEMPERATURA.

Es importante tener en cuenta que todo proceso de refrigeración tiene como efecto una deshumidificación del producto a enfriar. Esta consecuencia es poco deseada en la industria y la forma de mitigar este efecto es estableciendo un diferencial de temperatura (DT) entre el aire de la cámara y la temperatura de saturación en la succión del evaporador.

La experiencia adquirida a través del tiempo en refrigeración dicta que un diferencial apropiado para la mayoría de aplicaciones es de 10 °F. Sin embargo la naturaleza del producto determinará la humedad relativa deseable dentro de la cámara. (Diferencial de temperatura se describe en la sección de selección de equipos).

Tabla 4. Diferenciales de temperatura recomendados (DT) para diferentes clases de productos alimenticios. Con evaporadores de aire forzado.

CLASE	DT	H.R. APROX.	DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES DE LOS PRODUCTOS
1	7° - 9°F	90%	Resulta una cantidad mínima de evaporación de la humedad durante el almacenamiento, incluye vegetales, productos agrícolas, flores, hielo sin empaque y cuartos para enfriar.
2	10° - 12°F	80-85%	Incluye almacenamiento en general y refrigeradores de tiendas de conveniencia, comida y vegetales empacados, frutas y productos similares. Productos que requieren ligeramente menores niveles de humedad relativa que aquellos de la Clase 1.
3	12° - 16°F	65-80%	Incluye cerveza, vino, farmacéuticos, papas y cebollas, frutas de cáscara dura como son melones y en término corto productos empacados. Estos productos requieren sólo humedades relativas moderadas.
4	17° - 22°F	50-65%	Incluye cámaras de preparación y corte, almacenes de cerveza, dulce o almacenaje de películas y diques de carga. Estas aplicaciones necesitan sólo bajas humedades relativas o aquellas que no son afectadas por la humedad.

Fuente: Manual de Ingeniería Bohn.

3.4 APLICACIÓN DE LA CÁMARA.

Es muy importante definir la aplicación de la cámara pues es diferente mantener congelado un producto, mantener fresco un producto o congelar un producto. Estas 3 variantes brindan un resultado radicalmente distinto en el cálculo de la carga térmica.

3.5 PANELES AISLANTES.

La panelería utilizada en cada proyecto posee un efecto directo en el cálculo buscado, no aísla igual el cuarto un panel de 2,5 pulgadas que uno de 4 pulgadas. Por tanto es un factor relevante al momento de definir térmicamente el sistema.

3.6 PRODUCTO Y CARGAS ADICIONALES.

Saber el producto a refrigerar, peso, tiempo en refrigeración, tipo de almacenamiento, condiciones de entrada, etc, permite estimar la energía necesaria para alcanzar la temperatura deseada. También es necesario considerar la carga que aportan los diferentes elementos dentro de la cámara entre esos: personas, luces, montacargas etc.

CAPITULO 4. PRODUCTO ALMACENADO.

Debido a políticas de la empresa cliente no se darán detalles específicos del producto. La información suministrada para el proyecto establece como productos almacenados azúcares y miel de maple.

Azúcar

La fórmula química del azúcar es $C_{12}H_{22}O_{11}$, conocida también como sacarosa y formada por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se obtienen principalmente de la caña de azúcar.

Algunas de sus características son:

- Estado físico: Sólido cristalino.
- Color: Translúcido.
- Olor: Ligero olor.
- Punto de fusión: $> 160\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Conductividad: $= < 35\text{ }\mu\text{S/cm}$.
- Solubilidad: Agua muy soluble, etanol 96° poco soluble.

La sacarosa es muy utilizada tanto a nivel industrial como doméstico. Un ejemplo es la producción de caramelo que es creado cuando el azúcar se calienta a $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde se transforma en una masa de color pardo aprovechada en productos comerciales como bebidas, postres, etc.

Para su almacenamiento se recomienda colocar el producto en lugares secos y ventilados. La normativa ASHRAE establece su calor específico sobre el punto de congelación en un factor de 0,24. Se estima una vida aproximada de almacenamiento de 1 año.

Miel de maple

Es un azúcar natural obtenido de la savia de los arces. Es considerado uno de los primeros endulzantes conocidos, antes de la introducción del azúcar de caña en el mercado.

Por años, estos árboles (arces) acumulan almidón que, con el deshielo de la primavera, se convierte en azúcar y se mezcla con el agua absorbida por sus raíces. Esta savia contiene cerca del 97% de agua, además de minerales y ácidos.

La producción de jarabe de arce se centra en el noreste de América del Norte, sin embargo, dadas las condiciones climáticas adecuadas, se puede hacer que las especies apropiadas de árboles de arce se desarrollen.

El jarabe puro de maple antes de ser envasado o enlatado es calentado a una temperatura que oscila entre 160 °F y 200 °F. Esta temperatura elevada permite la pasteurización del producto y la esterilización de los envases impidiendo la formación de hongos.

Algunas de sus características son:

- Aspecto: Líquido viscoso.
- Color: Caramelo.

Para su almacenamiento se recomienda colocar el producto en lugares secos y ventilados. La normativa ASHRAE establece su calor específico sobre el punto de congelación en un factor de 0,48 estimando una vida aproximada de almacenamiento de 1 año.

⁷Tomado del Manual de Ingeniería BOHN.

CAPITULO 5. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA.

Los diferentes fabricantes de equipos establecen generalmente 4 fuentes de calor principales. Estas son:

1. Carga por transmisión.
2. Carga por cambio de aire.
3. Carga miscelánea.
4. Carga del producto.

El anexo N° 1 (documento Excel) muestra los cálculos realizados para obtener la carga térmica del sistema.

5.1 CARGA POR TRANSMISIÓN.

Se define como el flujo de calor que viaja a través de los muros, piso y techo. Las características del aislamiento utilizado en la construcción del cuarto, la diferencia de temperatura existente entre los dos lados de cada pared, son parte de los factores que establecen la carga a través de muros. Es importante establecer el área expuesta al frío dentro del cuarto. Para el diseño solicitado por la empresa cliente se dispone de las siguientes dimensiones:

Tabla 5. Dimensiones de la cámara.

<i>Dimensiones</i>	
Largo.	76,935 ft
Ancho	37,204 ft
Alto.	24,934 ft
Volumen.	71 368,332 ft³

Tabla elaborada en Microsoft Word con las dimensiones requeridas por la empresa cliente.

Sabiendo que el material aislante para las paredes del recinto refrigerado es uretano esreado de 2,5 pulgadas de espesor, se procede a determinar el factor de carga por transmisión. La marca BOHN en su manual de ingeniería tabula estos factores ASHRAE de la siguiente forma.

Tabla 6. Cargas de transmisión de calor en paredes.

Aislamiento (Pulg.)					Carga de Trasmisión de Calor (BTU por 24 Hrs. por 1 pie ² de Superficie Exterior)																						
Corcho o Lana Mineral	Fibra de Vidrio o Poliestireno	Uretano Espreado	Uretano Aplicado en el lugar	R	Reducción de temperatura en °F (Temperatura exterior del aire menos Temperatura del cuarto)																						
					K=0,30	K=0,26	K=0,16	K=0,12	1	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
					1	2	3	4	5,10	204	230	255	281	306	332	357	383	408	434	459	485	510	536	561	587	612	
4	3	2		12,6	1,80	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216					
5	4		2	16,4	1,44	58	65	72	79	87	94	101	108	115	122	130	137	144	151	159	166	173					
6	5	3		19,6	1,20	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144					
8	6	4	3	25	0,90	36	41	45	50	54	59	63	68	72	77	81	86	90	95	99	104	108					
10	8		4	33	0,72	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83	86					
	10	6		38,7	0,60	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72					
			6	50	0,48	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41	43	46	48	51	53	55	58					
Ventana de vidrio sencilla				9	27,00	1080	1220	1350	1490	1620	1760	1890	2030	2160	2290	2440	2560	2700	2840	2970	3100	3240					
Ventana de vidrio doble				2,2	11,00	440	500	550	610	660	715	770	825	880	936	990	1050	1100	1160	1210	1270	1320					
Ventana de vidrio triple				3,4	7,00	280	320	350	390	420	454	490	525	560	595	630	665	700	740	770	810	840					
Piso de concreto de 6"				4,8	5,00	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600					

Fuente: Manual de Ingeniería Bohn.

Asi entonces suponiendo una temperatura ambiente critica de 95 °F (35 °C) e interpolando en la tabla se obtiene para páredes y techo un factor de 72,56 BTU/24hr ft² y para piso un factor de 127 BTU/24hr ft². El factor de piso es diferente debido a que el material es concreto de 6 pulgadas de espesor y se considera con diferencial de temperatura de 25,4 °F. Los resultados de la multiplicación de los factores de cargas por transmisión del proyecto planteado se tabulan a continuación:

Tabla 7. Cargas por transmisión de calor calculadas para el proyecto (Anexo N°1).

Parte	Área	Carga de Transmisión de calor	Resultado
Techo	2862,37 ft ²	72,56 BTU/24hr ft ²	207693,55BTU/24hr
Paredes Norte y Sur	3836,686 ft ²	72,56 BTU/24hr ft ²	278389,95BTU/24hr
Paredes Este y Oeste	1855,353 ft ²	72,56 BTU/24hr ft ²	134624,39BTU/24hr
Piso	2862,37 ft ²	127 BTU/24hr ft ²	363520,96BTU/24hr
Total			984228,85BTU/24hr

Tabla Elaborada en Microsoft Excel, generada con los datos extraídos de bibliografía "ASHRAE

FUNDAMENTALS HANDBOOK"

5.2 CARGA POR CAMBIOS DE AIRE.

Cambios de aire promedio

El aire fuera de una cámara refrigerada está a mayor temperatura que el que se encuentra dentro de la cámara. Esto implica que al momento de abrir la puerta una cantidad de aire caliente entrará al sistema. Esta ganancia de calor deberá ser removida del cuarto y se considera una carga para el sistema que también es conocida como carga por infiltración. La experiencia permite tabular un promedio de cambios de aire basándose en el volumen refrigerado. Esta clase de pérdidas son un factor nada despreciable en el cálculo de cargas térmicas por lo que la presencia de elementos como cortinas de aire, antecámaras, cortinas plásticas y puertas automáticas favorece un uso más eficiente de la energía, y la selección de equipos de menor potencia. ASHRAE plantea los siguientes factores multiplicadores por cambios de aire:

Tabla 8. Cambios de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento arriba de 32°F (0°C) debido a la apertura de puertas e infiltración.

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: ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK.

Nuevamente realizando la interpolación de datos para el volumen de la cámara refrigerada (71 368,332 ft³) que se plantea en el proyecto se obtiene que:

Tabla 9. Cambios de aire promedio estimados en 24 horas, para el cuarto de almacenamiento planteado, debido a la apertura de puertas e infiltración (Anexo N°1).

Volumen	Factor por cambios de aire en 24hr
71 371,464 ft ³	1,658

Tabla elaborada en Microsoft Excel y generada con datos extraídos de la bibliografía del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK".

El calor removido del aire para cuartos de almacenamiento es tabulado por el manual de ingeniería BOHN de la siguiente manera:

Tabla 10. Calor removido del aire de enfriamiento para cuartos de almacenamiento (BTU por pie³).

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 Ingeniería Bohn.

Donde para las condiciones extremas de 95 °F y 60% de humedad relativa y temperatura de almacenamiento de 44,6 °F (7 °C) se extrae el valor ASHRAE que se muestra a continuación.

Tabla 11. Estimación del calor removido del aire de enfriamiento para cuarto de almacenamiento planteado (BTU por pie³) (Anexo N°1).

Temperatura de almacenamiento.	Temperatura del aire exterior.	Humedad relativa.
		95°F.
	Factor ASHRAE por calor removido.	
44,6°F	2,434 BTU/ft³	

Tabla elaborada en Microsoft Excel y generada con datos extraídos del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

Realizando la multiplicación de los factores estimados se tiene que la carga por cambios de aire es de alrededor de 288 000 BTU por cada 24 horas.

Tabla 12. Carga de transmisión por cambios de aire (Anexo N°1).

Volumen.	Factor tabla 10.	Factor tabla 11.	Resultado.
71 371,464 ft ³	1,658	2,434BTU/ft ³	288024,68 BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos extraídos de la bibliografía del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

5.3 CARGAS MISCELÁNEAS.

Existen fuentes de calor que no deben ser desatendidas al momento de seleccionar equipos de refrigeración. Generalmente se promedian en periodos de 24 horas y en este tipo de carga termica se incluyen:

- Iluminación: Existen aplicaciones que tienen requerimientos especiales de iluminación, por ejemplo cuando se realizan trabajos dentro del espacio refrigerado que necesitan una buena visibilidad, como en camaras de procesos, camaras de cortes etc. Sin embargo los requerimientos típicos en cuartos refrigerados son de 1 a 1/2 watt por ft². El proyecto que se realiza no requiere ningun tipo de iluminación especial con respecto a la calidad de la luz dentro del recinto. Para calcular la carga termica por luces, se multiplica cada watt por 3.42 BTU / Watt para obtener BTU/hr que multiplicados por 24, brindan el porcentaje de carga diario estimado por ASHRAE para tipos generales de iluminación.

$$3,42 \frac{BTU}{Watt} * 24 \text{ horas} * \frac{1 \text{ Watt}}{ft^2} = 82 \frac{BTU}{ft^2 * 24 \text{ hr}}$$

Ecuación 1. Factor multiplicativo ASHRAE para sistemas de iluminación en cuartos refrigerados de uso general.

Extraído del ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK.

Por tanto para el proyecto el calor que debe ser removido por iluminación es de:

Tabla 13. Calor generado por la iluminación dentro de la cámara (Anexo N°1).

Área.	Constante ASHRAE.	Resultado.
2862,37 ft ²	82 BTU/ft ² *24hr	234714,32 BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos extraídos del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

Motores electricos: Por su función de brindar movimiento y debido entre otras cosas a la fricción, los motores son generadores de calor, por tanto deben ser estimados en los calculos de carga termica. Minimizar la carga calorifica en un cuarto frio es una maxima de refrigeración por lo que se procura el uso de

montacargas que funcionan con batería, lo cual representa una disminución en la carga termica producida por los motores. Si se desconocen las condiciones de carga debidas a los motores, se puede asumir un motor de 1 HP para cada 16,000 ft³ en cámara de enfriamiento, y 1 HP por cada 12,500 ft³ en camara de congelación. Los motores mas pequeños son menos eficientes y por tanto con cargas termicas mayores para el sistema como se muestra a continuación:

Tabla 14. Calor equivalente de motores eléctricos.

Motor Hp	BTU por (HP) (HR)		
	Relacionado con la Carga dentro del Espacio Refrigerado ¹	Pérdida del Motor Fuera del Espacio Refrigerado ²	Relacionado con la Carga exterior del Espacio Refrigerado ³
1/8 a 1/2	4,250	2,545	1,700
1/2 a 3	3,700	2,545	1,150
3 a 20	2,950	2,545	400

Fuente: Manual de Ingeniería Bohn.

Se estiman 8 motores eléctricos de ½ caballo de fuerza instalados dentro de la camara refrigerada (unidades evaporadoras) dando como resultado una carga termica de:

Tabla 15. Calor generado por motores eléctricos dentro de la cámara (Anexo N°1).

Carga	Constante ASHRAE	Resultado
4 HP	70 800BTU/HP/24hr	283200,0BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos extraídos del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

Los montacargas dentro de un cuarto de refrigeración poseen motor eléctrico con el objetivo de impactar de la menor manera la carga térmica del recinto. Se pueden clasificar las ganancias de calor dependiendo de la capacidad de carga (lb) del montacargas.

Tabla 16. Factores multiplicativos para determinar la ganancia de calor en un sistema frigorífico por presencia de montacargas.

Capacidad de Carga lb.	Ganancia de Calor por Hora de Funcionamiento del Montacargas BTU/hr.*	Peso Total Aprox. del Montacargas lb.
2,000	14,000	6,000
4,000	21,000	8,000
6,000	23,000	12,000
8,000	26,000	14,000

Fuente: "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

Estimando el trabajo de un montacargas dentro del edificio se desarrolla la siguiente tabla.

Tabla 17. Calor generado por montacargas dentro de la cámara.

Capacidad de carga	Número de montacargas	Ganancia de calor	Resultado
2000 lb.	1	14 000 BTU/24hr	14 000 BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos extraídos de la bibliografía del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

- Personal: El calor emitido por los seres humanos también influye en el funcionamiento de los equipos, por tanto la existencia de personas trabajando en un almacén refrigerado, es parte de la carga térmica total del sistema. La ocupación múltiple para un período corto debe promediarse a un período superior a 24 hr. Si no se conoce la carga por ocupación, se permite suponer una persona cada 24 hr por cada 25,000 ft³ de espacio.

Tabla 18. Calor equivalente por ocupación.

Temperatura del cuarto.	Calor Equivalente/Persona BTU/24Hrs
50°F	17 280
40°F	20 160
30°F	22 800
20°F	25 200
10°F	28 800
0°F	31 200
-10°F	33 600

Tabla elaborada en Microsoft Word y generada con datos extraídos de "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

La empresa cliente informa que en casos críticos 4 personas se ubicarían en el cuarto al mismo tiempo durante 1 día. Realizando una nueva interpolación de datos se determina que la carga térmica por ocupación es de alrededor de 75 000 BTU/24hr para el proyecto que se plantea.

Tabla 19. Calor generado por personas dentro de la cámara (Anexo N°1).

Número de personas.	Calor generado.	Resultado.
4	18 835 BTU/24hr	75 340BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos extraídos del “ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK”

Realizando un resumen de las cargas misceláneas estimadas se tiene el total mostrado a continuación:

Tabla 20. Calor total generado por cargas adicionales (Anexo N°1).

Motores	283 200,00 BTU/24hr
Iluminación	234714,32 BTU/24hr
Personas	75340,00 BTU/24hr
Montacargas	14000,00 BTU/24hr
Total.	607254,32 BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos extraídos del “ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK” y el “Manual de ingeniería BOHN”.

5.4 CARGA DEL PRODUCTO.

El calor perdido por un producto al momento de ser refrigerado consta de los siguientes componentes definidos a continuación:

5.4.1 Calor específico.

Al calor que debe de ser removido de una libra de producto para reducir su temperatura 1 °F, se le llama calor específico. Este tiene dos valores: uno aplicado cuando el producto está arriba del punto de congelación; el segundo es aplicable después de que el producto ha alcanzado su punto de congelación.

5.4.2 Calor latente.

A la cantidad de calor que debe eliminarse a una libra de producto para congelarlo, se le llama calor latente de fusión. La mayoría de los productos tienen un punto de congelación en el rango de 26 °F (-3,33 °C) a 31°F (-0,55 °C), y si la temperatura exacta es desconocida, esta puede considerarse de 28°F (-2,22 °C).

Puesto que los productos almacenados no van a ser congelados el factor de carga utilizado es el que corresponde al calor específico arriba del punto de congelación.

ASHRAE plantea una tabulación que describe los requerimientos de los productos almacenados. El azúcar y el maple poseen las siguientes características térmicas:

Tabla 21. Requerimientos y propiedades de almacenamiento para productos perecederos.

Productos	Punto de congelación más alto	Calor específico arriba del punto de congelación	Calor específico abajo del punto de congelación	Calor latente de fusión
Azúcar	-	0,24 BTU/hr °F	0,21 BTU/hr °F	7 BTU/Lb
Almíbar -Maple	-	0,48 BTU/hr °F	0,31 BTU/hr °F	51 BTU/Lb

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

Para encontrar la carga por producto se multiplican los factores de calor específico, cantidad de producto y diferencia de temperatura entre el producto y la cámara de almacenamiento.

Tabla 22. Carga térmica generada por los productos (Anexo N°1).

Producto	Cantidad de producto	Factor tabla 22	Diferencia de temperatura del producto	Resultado
Azucares	180 779,004 Lb	0,24 BTU/ hr °F	19,8 °F	859061,83BTU/24hr
Maple	242 508,42 Lb	0,48 BTU/ hr °F	19,8 °F	2304800,02BTU/24hr
			TOTAL	3163861,85BTU/24hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculada con datos de "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

5.5 CARGA POR RESPIRACIÓN.

Estos seres vivos continuamente son sometidos a cambios que liberan energía en forma de calor, el cual varía con factores como la temperatura. Las frutas frescas y los vegetales están vivos por lo que incluso en un almacén refrigerado generan calor, el cual es llamado calor de respiración. Los valores son generalmente tabulados en BTU/lbs/24hrs y son aplicados al peso total del producto que se almacena y no sólo lo retirado diariamente.

Para el presente informe este tipo de carga no aplica en el calculo de carga termica.

Tabla 23. Calor de respiración del producto (Anexo N°1).

Cantidad de producto	BTU/24hr/°F
423287,4 lb.	Temperatura de almacenamiento
	44,6 °F
	-

Tabla elaborada en Microsoft Excel y extraida con datos del "ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK"

Se resume la carga termica total del sistema de la siguiente manera:

Tipo Carga por:	Valor
Transmisión	984228,85 BTU/24hr
Cambios de Aire	288024,68 BTU/24hr
Misceláneas	607 254,32BTU/24hr
Producto	3 163 861,85 BTU/24hr
Respiración	0,00 BTU/24hr
TOTAL	5 043 369,71 BTU/hr

**Con un funcionamiento base de 24 h para todas las cargas.*

Tabla 24. Resumen de carga térmica total de un cuarto de mantenimiento fresco para materia prima de bebidas carbonatadas refrigerado a 44,6 °F (Anexo N°1).

Tabla elaborada en Microsoft Excel

Se divide la carga termica total entre el tiempo de funcionamiento estimado del sistema (se recomienda entre 16 y 18 horas) para obtener la carga por hora del circuito refrigerado.

Tabla 25. Ganancia o capacidad de enfriamiento total (Anexo N°1).

Calor generado	Run Time	Resultado
5 043 369,71 BTU/24hr.	17hr.	296 668,81 BTU/hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel y calculadasuponiendo ciclos de trabajo para el compresor de 17 horas.

5.6 FACTOR DE SEGURIDAD.

En diseño de proyectos generalmente se aplica un factor de seguridad del 10% sobre la carga termica total esto con el objetivo de cubrir la minima inexactitud u omision. Esta seguridad adicional puede funcionar de reserva para el compresor en caso de ser exigido sobre el nivel normal de trabajo. Por tanto la carga termica total del sistema se establece en:

Tabla 26. Ganancia de calor total (Anexo N°1).

Calor generado	Factor de seguridad	Resultado
296 668,81 BTU/hr	10%	326 335,687 BTU/hr

Tabla elaborada en Microsoft Excel con la sumatoria de cargas termicas del sistema.

Graficando el resultado final de la distribución de cargas térmicas se tiene que:

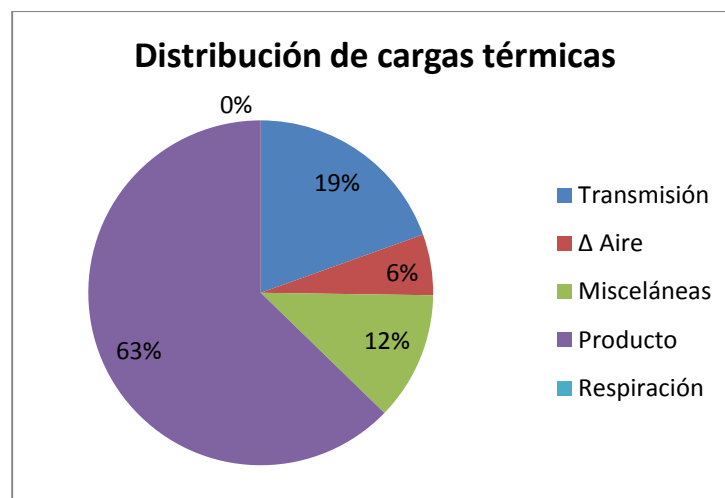


Ilustración 14. Distribución de las cargas térmicas generadas dentro de la cámara de refrigeración de mantenimiento fresco (Anexo N°1).

Gráfico elaborado en Microsoft Excel con datos obtenidos en el presente informe.

CAPÍTULO 6. SELECCIÓN DE EQUIPO.

6.1 EQUIPO Y SISTEMA ACTUAL

Actualmente el cuarto de almacenamiento opera con 4 evaporadores marca BOHN modelo BHA750CA y una unidad condensadora marca BOHN modelo BLV 4000M6, estos con la capacidad de manejar una carga termica de 300 000 BTUH a una temperatura de almacenamiento de 7°C (44,6°F).

El cuarto posee panel de 2,5 pulgadas de espesor en estado deficiente, debido a golpes con los montacargas y desgaste general lo que sugiere el cambio parcial o total de las paredes, de la bodega de almacenamiento.

El sistema se maneja con refrigerante R-22 clasificado entre los HCFC`s que contribuyen con la destrucción de la capa de ozono. La distancia más grande entre los evaporadores y la unidad condensadora se estima en alrededor de 65,62 pies (20 m), con tubería de cobre de 1 1/8" para la línea de líquido y 2 1/8" para la línea de succión. Los aislamientos en la tubería de succión se encuentran desgastados y la ubicación de los equipos no es la mejor de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Además, es importante recalcar la ausencia de normativa NFPA contraexplosiones a pesar de la existencia de tubería de gas propano dentro de la nave industrial.

6.2 REFRIGERANTE R-22

Hoy en día el refrigerante R-22 es utilizado en gran parte de los equipos de aire acondicionado unitario y en refrigeración comercial de media y baja temperatura. Su alta demanda mundial se debe a varios factores; amplia disponibilidad, antigüedad en el mercado, versátil y con buena capacidad calorífica, además fue utilizado como sustituto desde el inicio de la regulación de los CFCs.

Algunas de sus características son:

Formula: CHF₂CL.

Nombre químico: Clorodifluorometano.

Tipo: HCFC.

Tipo de sustancia: Pura.

Color : incoloro.

pH : neutro

Peso molecular: 86,5 g/mol

Temperatura de fusión: -157 °C

Temperatura de ebullición: -40,9 °C

Temperatura crítica: 96,2 °C

Punto de ignición: No aplicable para gases o mezclas de gases.

Desventajas:

- Contribuye al efecto invernadero.
- Sustancia agotadora de la capa de ozono, incluida en el protocolo de Montreal, para ser eliminada del mercado.
- Limitaciones en la oferta para los próximos años. Se estima una reducción importante a partir del 2015.
- Miscibilidad con aceites minerales limitada. A bajas temperaturas provoca problemas de retorno de aceite.

6.3 UBICACIÓN DE EQUIPOS.

Actualmente existe una mala ubicación de los equipos según las recomendaciones del fabricante (marca BOHN), esto debido a que los evaporadores se ubican sobre las puertas del recinto. Con este tipo de configuración se pueden presentar problemas de transferencia de calor en sistemas mantenimiento fresco, esto debido a que la temperatura en el serpentín del evaporador es cercana a los 32°F (0°C) lo que podría implicar la formación de hielo en el exterior del serpentín debido a la

humedad del aire entrante, impidiendo el buen intercambio de calor entre el refrigerante y el aire interior de la cámara.

Aunque la estética no es un factor importante en la funcionalidad del sistema, es bien visto un diseño donde las tuberías de desague de los evaporadores no realicen recorridos amplios dentro ni fuera del cuarto refrigerado. Al colocar los evaporadores sobre las puertas se debe hacer un manejo poco estético del desague de los evaporadores.

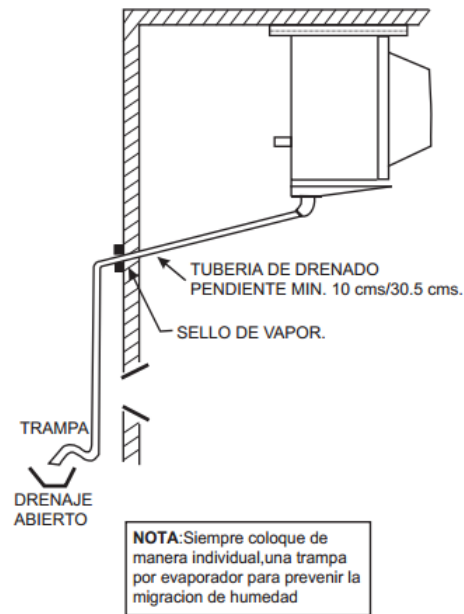


Ilustración 15. Colocación correcta de la tubería de drenado de los condensados.

Fuente: Manual BOHN. "Instalación del Sistema de Refrigeración". Manual H-IM-64HL/APM.

El circuito de refrigeración existente no brinda una buena mantenibilidad para la empresa esto debido a que en caso de algún paro mantenimiento o fallo del equipo, el producto estaría en riesgo lo que podría provocar pérdidas millonarias a la empresa cliente.

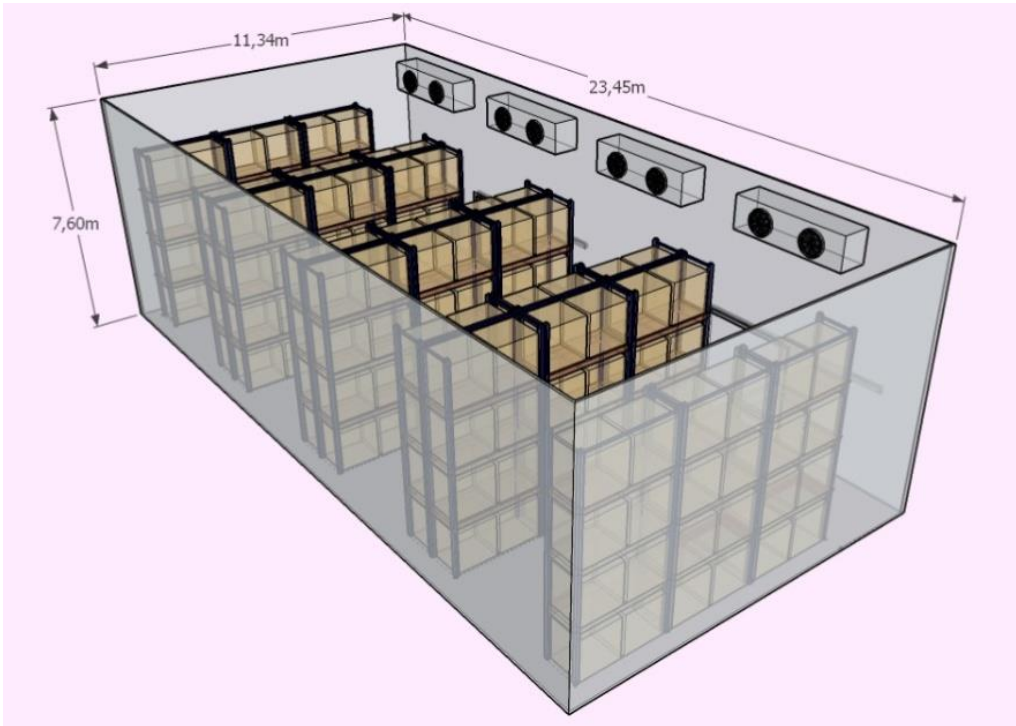


Ilustración 16. Vista isométrica trasera del cuarto de mantenimiento fresco actual (Anexo 4).

Fuente: Dibujo realizado con datos tomados en planta. Software de ingeniería utilizado Sketch up.

6.4 CLASIFICACION DEL TIPO DE EDIFICIO SEGÚN NORMATIVA NFPA⁸

El cuarto refrigerado se encuentra ubicado dentro de una nave industrial por la que pasan líneas de gas propano. El propano (también denominado GLP, gas licuado de petróleo o Gas LP) es un combustible líquido almacenado bajo presión.

En la mayoría de los sistemas, se vaporiza (se convierte en gas) antes de salir del tanque. El propano es sumamente inflamable cuando se mezcla con aire (oxígeno) y puede encenderse por numerosas fuentes, como llamas abiertas, materiales que emanen humo, chispas eléctricas y electricidad estática, entre otros. En estado líquido puede ocasionar graves “quemaduras por congelación” si entra en contacto con la piel.

Es un producto con múltiples aplicaciones, incluidas combustible gaseoso para usos domésticos, comerciales e industriales; combustible para motores de combustión interna; propelente de aerosoles, materia prima para petroquímica, etc.

Las áreas de trabajo explosivas se pueden clasificar dependiendo del tipo de producto inflamable que se encuentre en el lugar.

Siguiendo lo descrito por la normativa NFPA contra explosiones, el área del proyecto se clasificaría como de clase 1 debido a que en ella puede existir la presencia de gases o vapores inflamables. Pertenece al grupo D debido a las características del gas propano y a la división 1 esto debido a que el peligro de alguna explosión será latente cuando exista presencia de fugas generalmente provocadas por labores de mantenimiento o fallas propias del desgaste cotidiano.

La liberación del gas puede provocar concentraciones de combustible peligrosas que podrían resultar en un accidente si existe algún punto de ignición dentro del área en estudio. En el presente proyecto se procura minimizar al máximo la posibilidad de ignición por algún problema de tipo eléctrico.

6.4.1 Composición química del propano

Se compone entre otras cosas de una pequeña cantidad (generalmente hasta unas 50 ppm) de etil mercaptano (como agente odorizante) que es comúnmente añadido para facilitar la detección de fugas. Contiene < 0.1% 1,3-butadieno. Además, de una mezcla de hidrocarburos predominando propano y propileno.

⁸ Información es tomada de la norma NFPA 70 y del Artículo nro. 1519855 sobre recomendaciones de seguridad para el uso de gas propano de la empresa suburbanpropane.

6.5 EQUIPO Y SISTEMA PRESUPUESTADO

Una vez calculada la carga térmica del sistema y teniendo en cuenta las disposiciones expuestas por la normativa NFPA contra explosiones, se procede a seleccionar el equipo necesario para cumplir con las condiciones deseadas.

6.5.1 Unidad condensadora.

Para facilitar el diseño de sistemas refrigerados existe en el mercado la posibilidad de obtener un conjunto que se compone generalmente de compresor, condensador, motor de ventilador, controles y una placa de montaje. Su función es la de un intercambiador de calor con ventilación de aire del exterior para enfriar y condensar el vapor refrigerante entrante desde el evaporador.

Hay varios diseños de unidades condensadoras, de distintos tamaños que abarcan desde pequeños equipos residenciales hasta unidades industriales de gran escala utilizadas para procesos fabriles. Es responsabilidad del fabricante especificar el rango de funcionamiento y características propias del comportamiento de su equipo bajo diferentes condiciones y generalmente diferentes refrigerantes.

Para el presente proyecto se seleccionan dos unidades condensadoras marca BOHN modelo BLV1501H6, con capacidad para manejar 169550 BTU/hcada una a una temperatura ambiente aproximada de 90 °F (32 °C) con una temperatura de succión de 30 °F. Estas unidades están diseñadas para satisfacer las necesidades del mercado de la refrigeración comercial e industrial. Cuentan con un diseño y construcción muy flexibles que le permiten responder a los requisitos o necesidades de la industria moderna.

Su diseño incorpora condensadores enfriados por aire altamente confiables cuya tecnología de tubos flotantes proporciona una garantía real contra fugas. Las

unidades van equipadas con compresores Discus de COPELAND cargados con aceite sintético poliolester de viscosidad 150 SSU.

6.5.2 Proceso de selección:

Por la naturaleza de los sistemas de refrigeración se da un proceso de deshumidificación de los productos propio del enfriamiento. Se trata de minimizar este efecto de secado, mediante la selección de un diferencial (DT) entre las temperaturas de saturación de succión del evaporador y la temperatura del aire de la cámara.

Un diferencial de temperatura recomendado es 10 °F (6 °C si las unidades son °C) que brinda, según la experiencia, una humedad relativa de entre el 80 y 85 % en la cámara siendo esta adecuada para una gran mayoría de productos alimenticios.

Por tanto se considera la temperatura de saturación como:

$$T_{\text{Saturación}}(^{\circ}F) = T_{\text{Cuarto}}(^{\circ}F) - 10^{\circ}F$$

Ecuación 2. Selección de temperatura de saturación.

Extraído del Manual de Ingeniería Bohn.

Donde:

$T_{\text{Saturación}}$ = Temperatura de saturación.

T_{Cuarto} = Temperatura del Cuarto.

De acuerdo al manual del fabricante es importante considerar 2 °F más de tolerancia debido a la caída de presión en la línea de succión. Por tanto se considera una temperatura de succión de 32,6 °F para la selección de la unidad condensadora.

Cuando se selecciona la unidad condensadora se debe procurar que la capacidad de la misma sea mayor a la carga térmica calculada esto con el objetivo de garantizar la funcionalidad del equipo ante una máxima demanda de trabajo.

Así entonces del catálogo de productos BOHN 2014 se extrae lo siguiente:

* = LV for Limitizer®, DVS for Beacon II™
 For 50 cycle capacity, multiply values by .86
 All models will work in 120°F ambient.

Bohn Base Model	Compressor	Suction Temp. °F	Capacity (BTUH)			
			Ambient Temperature °F			
			90°F	95°F	100°F	110°F
High Temperature (R-404A/507)						
B*1501H6	3DS3R17ME	40°F	196,190	187,260	178,350	161,300
B*1501H6	3DS3R17ME	35°F	182,850	174,670	166,700	150,900
B*1501H6	3DS3R17ME	30°F	169,550	162,100	155,020	139,880
B*1501H6	3DS3R17ME	25°F	156,350	149,600	142,870	129,470
B*1501H6	3DS3R17ME	20°F	142,960	136,850	130,760	118,640
B*1501H6	3DS3R17ME	15°F	129,800	124,290	118,790	107,870
B*2001H6	4DA3R18ME	40°F	213,540	203,560	193,630	173,660
B*2001H6	4DA3R18ME	35°F	198,220	188,950	179,690	161,040
B*2001H6	4DA3R18ME	30°F	182,890	174,270	165,630	148,290
B*2001H6	4DA3R18ME	25°F	167,610	159,620	151,560	135,550
B*2001H6	4DA3R18ME	20°F	152,550	145,140	137,710	122,920
B*2001H6	4DA3R18ME	15°F	137,790	130,950	124,140	110,550
B*2501H6	4DH3R22ME	40°F	270,120	258,420	247,190	224,680
B*2501H6	4DH3R22ME	35°F	249,720	239,140	228,660	207,690
B*2501H6	4DH3R22ME	30°F	229,680	219,940	210,190	190,710
B*2501H6	4DH3R22ME	25°F	210,070	201,030	192,000	173,900
B*2501H6	4DH3R22ME	20°F	190,970	182,610	174,260	157,570
B*2501H6	4DH3R22ME	15°F	17,200	164,900	157,210	141,860
B*3001H6	4DJ3R28ME	40°F	320,940	306,860	292,280	262,960
B*3001H6	4DJ3R28ME	35°F	299,070	285,660	272,190	245,320
B*3001H6	4DJ3R28ME	30°F	276,660	264,260	251,780	227,020
B*3001H6	4DJ3R28ME	25°F	254,250	242,830	231,370	208,610
B*3001H6	4DJ3R28ME	20°F	232,010	221,530	211,090	190,280
B*3001H6	4DJ3R28ME	15°F	210,150	200,620	191,120	17,290

Tabla 27. Comportamiento de diferentes unidades condensadoras BOHN para las diferentes temperaturas tanto de succión como ambientales.
Tabla tomada del catalogo de productos BOHN 2014.

Se observa que la colocación de 2 unidades condensadoras BLV1501H6 a una temperatura de succión de 32,6 °F (0,33 °C) con una temperatura ambiente crítica de 95 °F (35 °C) brinda una capacidad de 337 272 BTU/hr con el refrigerante R-507a, suficiente para soportar la carga térmica estimada del recinto.

En cuartos fríos grandes, se recomienda que la carga sea dividida en varias unidades condensadoras. Una carga que requiera más de 10 Hp debe separarse para proporcionar mayor confiabilidad en el sistema.

Se determina que la unidad condensadora seleccionada es la que mejor se adapta tanto en características térmicas como económicas al proyecto.

También se tomaron en cuenta para la selección factores como:

- Presencia de los equipos en el país.
- Costo de las unidades.
- Costo de importación de los mismos.

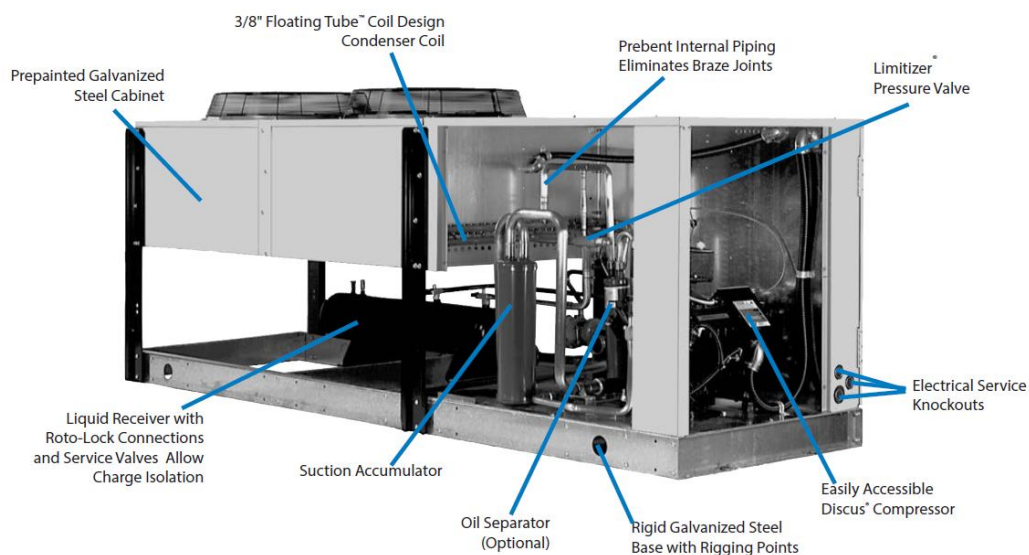


Ilustración 17. Unidad condensadora BLV 1501H6.

Fuente: "Vertical air discharge condensing unit". Boletín BN-VADTB.

6.5.3 Selección del refrigerante.

Se seleccionó el refrigerante R-507a para el sistema de refrigeración. Este es un refrigerante azeotrópico que pertenece a las llamados HFC`s y orientado a sustituir al R-502 en equipos de refrigeración comercial.

Este tipo de refrigerante tiene un menor impacto ambiental que el R-22 (refrigerante usado actualmente), colaborando con las iniciativas del protocolo de Montreal y mejorando la imagen de la empresa hacia un proyecto país de carbono neutralidad.

Algunas de sus características son:

Composición química:

Tabla 28. Composición química del refrigerante R-507.

Componentes				
Número ASHRAE	Nombre Químico	Tipo	Fórmula	% de mezcla
R143a	1,1,1-Trifluoroetano	HFC	CF ₃ CH ₃	50
R-125	Pentafluoroetano	HFC	CF ₃ CHF ₂	50

Tabla tomada de la Guía para Técnicos. Refrigerantes Alternativos para procesos de sustitución de las sustancias agotadoras de la capa de ozono.

Seguridad: Clasificación según ASHRAE: A1.

Relación presión – temperatura: Su relación de presión y temperatura es muy similar a la del refrigerante R-502 como lo muestra la figura:

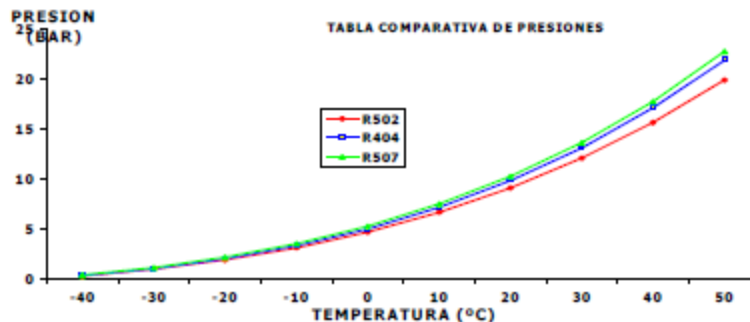


Ilustración 18. Gráfica presión contra temperatura de diferentes refrigerantes.

Fuente: Refrigerantes alternativos para los procesos de sustitución de las sustancias agotadoras de la capa de ozono. MINAET.

Al pertenecer a la familia de los HFC`s debe ser utilizado con aceites sintéticos tipo POE. Se recomienda que durante la labor de evacuación de sistemas que utilicen este tipo de lubricante, el nivel de vacío alcance al menos las 250 micras, que es mayor al recomendado para sistemas que utilicen lubricantes minerales; esto se debe a que los lubricantes sintéticos presentan niveles de higroscopia muy altos lo que se puede traducir en niveles de humedad más altos dentro de los sistemas que lo utilicen.

Ventajas del refrigerante R-507a:

- No dañan la capa de ozono.
- No son tóxicos ni inflamables.
- Son estables en condiciones normales de presión y temperatura.
- Son eficientes energéticamente.
- Son compatibles con la mayoría de los compresores existentes actualmente.

6.5.4 Unidad evaporadora.

La unidad evaporadora es el elemento del sistema donde se da transferencia de calor desde el medio enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior de los dispositivos. Sus componentes principales son: una batería de enfriamiento de aire, moto-ventiladores, carcasa y bandejas recolectoras de condensado.

El manejo de unidades anti-exposiciones no es común en sistemas de refrigeración por lo que no solo se debe tener en cuenta la capacidad de los equipos sino también el cumplimiento de la normativa. Sin embargo la elección del evaporador adecuado no se ve afectada directamente por lo establecido en la NFPA. Por tanto se seleccionó el modelo de unidad evaporadora GUNTNER GHN 071.2E/212-ANU50.M capaz de manejar 79 654 BTU/h por unidad, a una temperatura de succión de 32 °F. Se instalarán 2 unidades evaporadoras por unidad condensadora.

6.5.5 Proceso de selección:

Una vez seleccionada la unidad condensadora se procede a seleccionar la unidad evaporadora teniendo en cuenta los requerimientos de humedad relativa y capacidades térmicas del sistema.

La selección de la unidad evaporadora se realiza teniendo en cuenta la ecuación:

$$\frac{\text{Capacidad de la unidad condensadora a T.S.S.}}{\text{Capacidad del evaporador}} * 10 = DT$$

Ecuación 3. Selección del diferencial de temperatura (DT) requerido.
Extraído del Manual de Ingeniería Bohn.

Donde:

T.S.S = Temperatura de succión de saturación deseada.

DT = Diferencial de temperatura.

Debido a las dimensiones del cuarto de mantenimiento fresco que se está trabajando, es importante tratar de obtener una distribución homogénea del aire que circulara dentro de la cámara, por tanto se divide la carga térmica en 4 evaporadores como en el diseño original, con la diferencia de que se colocarán 2 por unidad condensadora que se encargaran de recircular y enfriar toda la masa de aire en el cuarto de manera constante, hasta alcanzar la temperatura requerida.

Las unidades seleccionadas para el sistema guardaran un diferencial de temperatura de aproximadamente 10,6 °F siendo un valor deseado y muy aplicado en la gran mayoría recintos para almacenamiento de productos perecederos.

6.6 CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA.

Los catálogos de fabricantes muestran el comportamiento de los evaporador es para mantenimiento fresco generalmente a una temperatura de succión de 25°F, esto debido a que un equipo de evaporación con descongelamiento por aire no sufre variaciones considerables en su capacidad por cambios ligeros de temperatura. Sin embargo, cuando se selecciona cualquier equipo debe verificarse su comportamiento con sus respectivos manuales de funcionamiento.

Un buen diseño de refrigeración debe contemplar el movimiento de toda la masa de aire del recinto, en un tiempo aceptable que según la experiencia adquirida en la empresa debe ser de entre 1 y 4 minutos. Cada evaporador seleccionado es capaz de mover 14 514 CFM's (CFM= pies cúbicos por minuto) lo que implica que el flujo de aire movido para ser enfriado en el cuarto, será de 58 056 CFM's. Así entonces se tardarán menos de 2 minutos para mover la masa total de aire del recinto lo que según la experiencia, ayuda a un proceso de enfriamiento más efectivo en el tiempo.

Generalmente en la industria, es una buena práctica seleccionar equipos de la misma marca sin embargo BOHN no posee evaporadores con motores anti-exposición por lo que se tuvo que recurrir a la marca GUNTNER que tiene modelos con motores marca BALDOR anti-exposiciones que garantizan el cumplimiento de la normativa para el tipo de espacio requerido.

Debido a las dimensiones del proyecto se prefiere dividir el sistema en dos, esto con el objetivo de mantener una unidad funcionando en caso de alguna falla. Una sola máquina no podrá mantener, por un periodo prolongado de tiempo la temperatura establecida del cuarto, pero ayudará a mantener el producto lo más fresco posible por un tiempo prudencial, permitiendo la intervención oportuna sobre el sistema.

Además, de la selección de los evaporadores, otro punto importante es la ubicación de los mismos, la dirección del aire y el tiro de aire deben ser estimados de tal forma que haya movimiento en donde se dé ganancia de calor. De preferencia el evaporador debe contar con el arreglo para dirigir la descarga de aire a cualquier puerta o apertura, si todo esto es posible. Esta configuración funcionara como barrera para el ingreso de aire caliente del exterior mejorando la eficiencia del sistema.

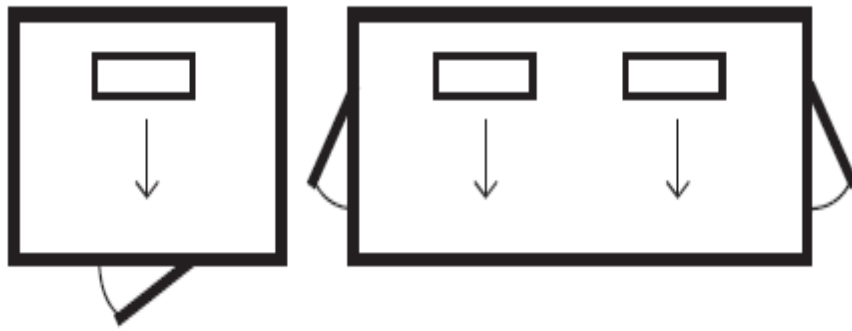


Ilustración 19. Esquema de ubicación correcta de evaporadores (concerniente al proyecto).

Fuente: Manual de Ingeniería Bohn.

Se debe evitar la colocación de evaporadores directamente arriba de las puertas y debe existir un espacio entre la parte posterior del evaporador y la pared, esta distancia es brindada por el fabricante (GUNTNER establece para el evaporador seleccionado al menos 71 cm), de no tener este dato la experiencia dicta que la distancia debe ser de al menos la altura de la unidad evaporadora.

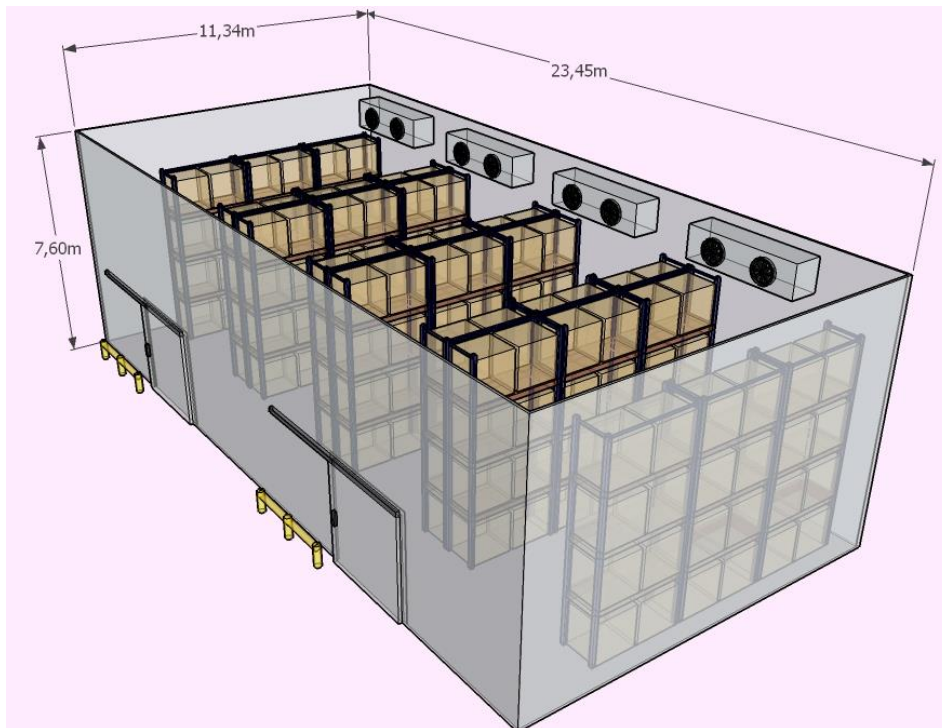


Ilustración 20. Vista isométrica del cuarto de mantenimiento fresco proyectado (Anexo 4).

Fuente: Dibujo realizado con datos tomados en planta. Software de ingeniería utilizado Sketch up.

Es también importante como recomendación de diseño, colocar trampas de líquido en las líneas de succión de las unidades evaporadoras, esto como una medida para evitar la presencia de refrigerante líquido o aceites en el compresor. Debido a que la unidad condensadora se encuentra ubicada debajo de las unidades evaporadoras se recomienda la siguiente configuración.

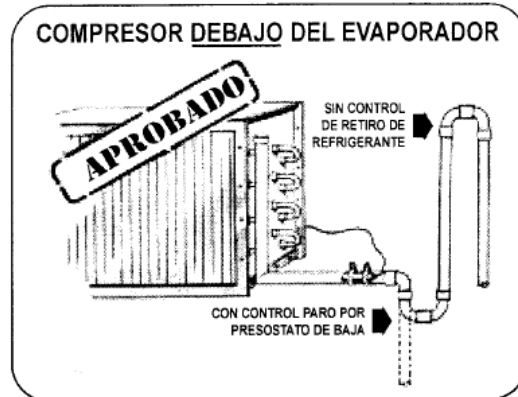


Ilustración 21. Configuración de trampas de succión recomendadas para una unidad condensadora ubicada debajo de la unidad evaporadora.

Fuente: Manual SPORLAN. "Válvulas de Expansión Termostática instalación, servicio y ensamble". Boletín EXP(S1) 10-11.

El ambiente de la unidad condensadora es un factor a tener en cuenta, ya que se estima que por cada 10 °F de incremento en la temperatura ambiente existe una disminución del 6% en la capacidad de la unidad. Se da el mismo efecto en sentido contrario, una disminución de 10°F puede aumentar la capacidad de la unidad en un 6%. Por esta razón se utilizó una temperatura ambiente crítica de 95 °F (35 °C) para el cálculo de carga térmica y la selección de equipos.

6.7 ELEMENTOS INDIVIDUALES DEL SISTEMA.

6.7.1 Compresor 3DS3R17ME

El modelo de compresor utilizado en la unidad condensadora es marca EMERSON de tipo semihermético, este tipo de compresor se caracteriza porque es accionado por un motor eléctrico montado directamente en el cigüeñal del compresor. En cuanto a eficiencia se refiere, el fabricante garantiza hasta un 10 % más que cualquier otro compresor de la competencia.

La gama de compresores semiherméticos de Emerson proporciona las siguientes ventajas:

- **Eficiencia:** Las válvulas de descarga Discus sustituyen a las tradicionales válvulas de “lengüetas”. Estas válvulas están integradas directamente en el propio plato de válvulas. Este diseño especial elimina el volumen muerto que siempre se genera al final de cualquier ciclo de compresión y permite conseguir la máxima eficiencia en el compresor.
- **Compresores para múltiples refrigerantes:** Cada modelo es compatible con la mayor parte de los refrigerantes de uso común. De esta forma se reduce la complejidad de los productos y se simplifica el diseño de los equipos. Modulación de capacidad continua mediante el uso de la tecnología digital (del 10 al 100 %)
- **Bajo nivel de ruido:** Es uno de los compresores alternativos más silenciosos del mercado. Su funda acústica permite reducir el nivel sonoro hasta en 15 dBA.

La siguiente tabla muestra el comportamiento de la capacidad térmica del compresor a diferentes temperaturas.

Tabla 29. Rendimiento del compresor semihermético de disco 3DS3R17ME COPELAND.

		MEDIUM TEMPERATURE										
		HFCs Require Use of Polyol Ester Lubricant Approved on Form 93-11										
RATING CONDITIONS		3DS3R17ME-TFC										
65 °F Return Gas		COPELAMETIC® HFC-507										
0 °F Subcooling		DISCUS® COMPRESSOR										
95 °F Ambient Air Over		TFC 208/230-3-60										
60 Hz Operation												
Evaporating Temperature °F (Sat Dew Pt Pressure, psig)		-10(26)	0(35)	5(41)	10(46)	15(52)	20(59)	25(66)	30(73)	35(81)	40(90)	45(99)
Condensing Temperature °F (Sat Dew Pt Pressure, psig)	140 (413)C	46800	60500	67500	75500	84000	93000	103000	113000	125000	137000	151000
	P	12200	13800	14700	15500	16300	17200	18000	18800	19600	20400	21200
	A	39.6	43.4	45.5	47.5	49.6	51.7	53.7	55.8	57.9	59.9	61.8
	M	1250	1620	1830	2050	2300	2570	2880	3210	3580	3990	4440
	E	3.8	4.4	4.6	4.9	5.1	5.4	5.7	6	6.4	6.7	7.1
	%	74.2	75.4	75.4	75.2	74.9	74.5	74	73.4	72.7	71.8	70.8
	130 (364)C	53500	68500	77000	86000	95500	106000	118000	130000	143000	158000	174000
	P	11900	13400	14100	14900	15700	16400	17100	17900	18600	19200	19900
	A	38.8	42.4	44.2	46.1	48	49.8	51.7	53.5	55.2	56.9	58.6
	M	1250	1620	1830	2060	2310	2580	2890	3230	3610	4030	4490
	E	4.5	5.1	5.4	5.8	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.2	8.8
	%	72.4	73.6	73.7	73.6	73.3	73	72.6	72.1	71.4	70.6	69.6
120 (320)C	60000	76500	86000	96000	107000	119000	132000	147000	162000	179000	197000	
P	11500	12900	13600	14200	14900	15600	16200	16800	17400	18000	18500	
A	37.9	41.2	42.9	44.5	46.2	47.8	49.4	50.9	52.4	53.8	55.1	
M	1260	1630	1840	2070	2330	2610	2920	3270	3660	4080	4550	
E	5.2	6	6.3	6.8	7.2	7.7	8.2	8.7	9.3	10	10.7	
%	71.4	72.3	72.4	72.3	72.1	71.8	71.4	70.9	70.2	69.3	68.2	
110 (279)C	66500	85000	95000	107000	119000	133000	147000	164000	181000	200000	221000	
P	11000	12300	12900	13600	14100	14700	15200	15800	16200	16700	17100	
A	36.9	39.9	41.4	42.8	44.3	45.7	47	48.2	49.4	50.5	51.5	
M	1280	1660	1870	2100	2360	2650	2970	3330	3720	4160	4640	
E	6	6.9	7.4	7.9	8.4	9	9.7	10.4	11.2	12	12.9	
%	70.8	71.5	71.5	71.4	71.1	70.8	70.4	69.8	69	68	66.7	
100 (243)C	73000	93000	105000	117000	131000	146000	163000	181000	200000	222000	245000	
P	10600	11700	12300	12800	13300	13800	14200	14600	15000	15300	15600	
A	35.8	38.5	39.8	41	42.2	43.4	44.5	45.4	46.3	47.1	47.7	
M	1310	1690	1900	2140	2410	2700	3030	3390	3800	4240	4730	
E	6.9	7.9	8.5	9.1	9.8	10.6	11.4	12.4	13.4	14.5	15.7	
%	70.4	70.8	70.7	70.5	70.2	69.8	69.2	68.5	67.5	66.2	64.6	
90 (210)C	79500	101000	114000	128000	143000	160000	178000	198000	220000	243000	269000	
P	10100	11100	11600	12000	12400	12800	13100	13400	13700	13800	14000	
A	34.7	37.1	38.2	39.2	40.2	41.1	41.8	42.5	43.1	43.5	43.8	
M	1340	1730	1950	2190	2460	2760	3100	3470	3890	4340	4850	
E	7.9	9.1	9.8	10.6	11.5	12.5	13.6	14.8	16.1	17.6	19.2	
%	70	70	69.8	69.5	69	68.4	67.7	66.7	65.4	63.6	61.5	
70 (154)C	93500	119000	134000	151000	169000	189000	211000	235000	260000	289000	319000	
P	8950	9700	10000	10300	10500	10700	10800	10800	10800	10700	10600	
A	32.6	34.2	34.9	35.5	36	36.3	36.6	36.6	36.6	36.3	35.9	
M	1410	1810	2040	2300	2580	2900	3260	3650	4080	4570	5100	
E	10.4	12.2	13.4	14.6	16	17.7	19.5	21.6	24.1	26.9	30.1	
%	68.4	67.6	66.9	66.2	65.1	63.9	62.2	60.1	57.4	53.9	49.4	
60 (130)C	101000	128000	145000	162000	182000	204000	228000	254000	282000			
P	8350	8950	9200	9350	9500	9550	9550	9450	9300			
A	31.7	32.9	33.4	33.7	34	34	34	33.7	33.3			
M	1440	1850	2090	2350	2650	2970	3340	3740	4190			
E	12.1	14.3	15.7	17.4	19.2	21.4	23.9	26.8	30.3			
%	66.7	65.3	64.4	63.2	61.7	59.8	57.3	54.1	49.9			
50 (109)C	109000	138000	156000	175000	196000	220000	245000	273000				
P	7700	8150	8300	8350	8400	8350	8200	8000				
A	30.9	31.7	32	32.1	32	31.8	31.4	30.9				
M	1460	1880	2130	2400	2710	3040	3420	3830				
E	14.1	16.9	18.8	20.9	23.4	26.4	29.9	34.2				
%	64.1	62	60.6	58.8	56.5	53.5	49.6	44.5				

Tabla tomada del catalogo compresores Discus para refrigeración de la marca EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES.

6.7.1.1 Características del compresor:

Rendimiento:

Performance		
Evap(*F)/Cond(*F)	20 / 120	0 / 110
RG(*F)/Liq(*F)	65.0 / 120.0	65.0 / 110.0
Capacity (Btu/hr)	119000	85000
Power (Watts):	15600	12300
Current (Amps):	47.80	39.80
EER (Btu/Wh):	7.70	6.90
Mass Flow (lbs/hr):	2610	1660
Sound Power (dBA):		
Vibration (mils/peak-		3.25 Max
Record Date:	2006-03-28	

Ilustración 22. Rendimiento del compresor 3DS3R17ME.
Fuente: Hoja de datos obtenida de <http://www.emersonclimate.com>.

Mecánicas

Mechanical			
Number of Cylinders:	3	Disp(in ³ /Rev):	35.01
Bore Size(in):	2.44	Disp(ft ³ /hr):	2127.41
Stroke(in):	2.50		
Overall Length (in):	28.25	Mounting Length (in):	15.00
Overall Width (in):	14.94	Mounting Width (in):	12.00
Overall Height (in):	19.18	Mounting Height (in):	20.93 *
Suction Size (in):	1 5/8 Sweat		
Discharge Size (in):	1 1/8 Sweat		
Oil Recharge (oz):	115		
Initial Oil Charge (oz):	125		
Net Weight (lbs):	385		
Internal Free Volume (in ³):			
Horse Power:	10		
*Overall compressor height on Copeland Brand Product's specified mounting grommets.			

Ilustración 23. Características mecánicas del compresor 3DS3R17ME.
Fuente: Hoja de datos obtenida de <http://www.emersonclimate.com>.

6.7.2 Selección de tuberías

En general cuando se diseñan sistemas de tuberías para fluidos se deben resolver dos problemas: caída de presión y velocidad. Esto significa que el sistema de tubería, debe tener el diámetro suficiente, para reducir la caída de presión sin afectar la velocidad.

Además de estos dos factores cuando se trabaja con refrigerantes debe tenerse en cuenta la presencia de aceite dentro de la tubería (necesario para el buen funcionamiento del compresor), lo que no debe influir con la transferencia de calor en el sistema.

No tener un control correcto de estas variables puede producir efectos no deseados en el circuito de refrigeración e inclusive afectar el funcionamiento de dispositivos específicos como válvulas o compresor.

Para fortuna de los diseñadores los fabricantes de equipos brindan tablas que toman en cuenta estos factores y permiten una escogencia correcta de tubería dependiendo de la carga térmica, refrigerante y longitud de la misma. Así entonces del manual de ingeniería BOHN se extrae que:

Tabla 30. Diámetro de tubería recomendado para la línea de líquido.

Capacidad.	Longitud Aproximada.	Refrigerante.	Diámetro.
180 KBTU/hr.	75 pies.	R-507a.	1 1/8 pulgadas.

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos del Manual de Ingeniería BOHN

Tabla 31. Diámetro de tubería recomendado para la línea de succión.

Capacidad.	Longitud Aproximada.	Refrigerante.	Diámetro.
180 KBTU/hr.	75 pies.	R-507a.	2 1/8 pulgadas.

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos del Manual de Ingeniería BOHN

Ya que no necesariamente van a coincidir los diámetros de tubería y equipos se debe tener presente incluir entre los materiales del proyecto las reducciones de cobre que permitan realizar las conexiones. Con base en los catálogos de productos se obtienen los siguientes diámetros:

Tabla 32. Diámetros de conexiones de la unidad condensadora BLV1501H6.

Tubería.	Diámetro.
Línea de Succión	1 5/8 pulgadas.
Línea de descarga	7/8 pulgadas.

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos del Catálogo de productos BOHN.

Tabla 33. Diámetros de conexiones de la unidad evaporadora GHN 071.2E/212-ANU50.M.

Tubería.	Diámetro.
Línea de Succión.	2 1/8 pulg.
Línea de líquido.	1 1/8 pulg.

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos del software GPC.EU de la marca GUNTNER.

Esto implica que se deben incluir reducciones de cobre de 2 1/8" a 1 5/8" (línea de succión) de 1 1/8" a 7/8" (línea de líquido). Debe tenerse en cuenta que la válvula de expansión se conecta directamente en la entrada de la unidad evaporadora para minimizar las pérdidas dentro de la tubería por lo que se necesitara también una reducción de 1 1/8" a 7/8" para esa conexión.

6.7.3 Motores anti-explósión.

Un motor eléctrico anti-explósiones es una máquina que garantiza el cumplimiento de normativas internacionales contra explosiones y tiene la capacidad de producir movimiento a través de la transformación de energía eléctrica en energía mecánica.

En el mercado de la refrigeración el uso de este tipo de motores es poco frecuente en los equipos, sin embargo la marca GUNTNER trabaja modelos de sus evaporadores con motores BALDOR (marca con motores certificados con normativa NFPA). Desde 1940 la compañía ha diseñado y manufacturado motores que cumplen o exceden los estándares de la industria, asegurando seguridad, eficiencia de energía y confiabilidad.

La marca BALDOR ofrece un stock de cerca de 300 diferentes motores a prueba de explosión, desde ¼ HP hasta 300HP, cumpliendo normativa internacional para uso en áreas peligrosas.

Los motores presentes en los evaporadores GUNTNER seleccionados poseen las siguientes características:

- 208-230/460 V.
- Capacidad: ½ Hp.
- Corriente a plena carga: 2,70 Amperios.
- Revoluciones: 1150 rpm.



Ilustración 24. Gama de motores BALDOR a prueba de explosiones.

Fuente: <http://www.baldordistribuidor.com.mx/>

Los motores BALDOR son acoplados y probados en los evaporadores GUNTNER con el objetivo de cumplir con todos los requerimientos contra explosiones que establece la normativa internacional, además de cumplir con las capacidades

esperadas con cada modelo de evaporador, garantizando la calidad que caracterizan a la marca.

A pesar de que en su cotización la marca GUNTNER no especifica el modelo de motor utilizado en sus evaporadores, este se puede establecer a través del catálogo de la marca BALDOR y las características propias de motores de esas dimensiones. Cabe resaltar que en su cotización GUNTNER brinda la clase, grupo y división que describe a los motores de sus evaporadores.

SPEC. NUMBER:	35E354Z07
CATALOG NUMBER:	M7007A
FL AMPS:	2.5-2.4/1.2
208V AMPS:	2.7
DESIGN CODE:	B
DOE-CODE:	--
FL EFFICIENCY:	70
FRAME:	56
HERTZ:	60
INSULATION-CLASS:	B
KVA-CODE:	L
SPEED [rpm]:	1140
NAMEPLATE-SERIAL-NUMBER:	--
OUTPUT [hp]:	.5
PHASE:	3
POWER-FACTOR:	55
RATING:	40C AMB-CONT
SERIAL-NUMBER:	--
SERVICE FACTOR:	1.00
TEMP. CODE:	T4
VOLTAGE:	208-230/460

Ilustración 25. Características del motor antiexplosiones BALDOR estimado

Fuente: <http://http://www.baldor.com/>

Tabla 34. Tabla de características de diferentes motores BALDOR a prueba de explosiones.

Trifásico, montaje en base (continuación)

kW	Hp	rpm	Carca- sa NEMA	Número de catálogo	Clase y grupo XP	Códigi- go temp. XP	Amps a alto V			% eficiencia		% factor de potencia			Voltaje	Dim. "C" mm (pulg.)	Diag. con. núm.	Notas	
							Carga plena	Rotor blo- quea- do	Torsión a carga plena NM (lb-pie)	1/2	3/4	Car- ga plena	1/2 PF	3/4 PF					Car- ga plena PF
0,18	0,25	1725	48	M6002A	②	T3C	0,65	3,45	1,02 (0,75)	55,5	62,5	63	33	43	56	208-230/460	326,39 (12,85)	CD0007	-
0,25	0,33	1725	56	M7002A	②	T3C	0,8	4,4	1,36 (1)	59	65	67	40	50	57	208-230/460	335,78 (13,22)	CD0007	-
0,25	0,33	1140	56	M7003A	②	T4	0,8	4,1	2,033 (1,5)	58	64	70	39	48	57	208-230/460	364,74 (14,36)	CD0007	-
0,37	0,5	3450	56	M7005A	②	T3C	1,1	6	1,02 (0,75)	56,3	64	68	44	56	63	208-230/460	335,78 (13,22)	CD0007	-
0,37	0,5	1725	48	M6007A	②	T3C	1	6,7	2,03 (1,5)	65	71,7	74	39	51	63	208-230/460	326,39 (12,85)	CD0007	-
0,37	0,5	1725	56	M7006A	②	T3C	1	6,7	2,03 (1,5)	65	71,1	74	39	51	63	208-230/460	335,78 (13,22)	CD0007	-
0,37	0,5	1140	56	M7007A	②	T4	1,2	5,8	3,06 (2,25)	57	64	70	37	47	55	208-230/460	364,74 (14,36)	CD0007	-
0,56	0,75	3450	56	M7007A	②	T3C	1,3	7,6	1,62 (1,2)	70,6	73,6	75	58	67	73	208-230/460	335,78 (13,22)	CD0007	-

* Carcasa de hierro fundido

① Clase I, Grupo D

② Clase I Grupo D, Clase II Grupo F y G

③ Clase I, Grupo C y D, Clase II Grupo F y G

19 Motor de 60/50 hercios. Aparecen los datos para 60 hercios, contacte a su oficina local de Baldor•Reliance si desea obtener los datos para 50 hercios.

Fuente: <http://www.baldordistribuidor.com.mx/>

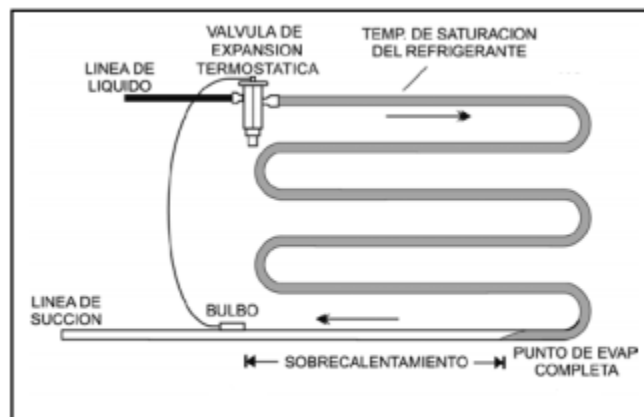
6.7.4 Válvula de expansión termostática.

Una válvula de expansión térmica es un dispositivo de expansión que es capaz de generar la caída de presión requerida entre el condensador y el evaporador para que se complete el ciclo de refrigeración. Además controla el flujo de refrigerante en la línea de líquido, manteniendo la proporción necesaria para lograr la evaporación total del fluido en el evaporador. Con esto se controla el sobrecalentamiento, manteniéndolo constante y permitiendo operar el sistema a plena carga de refrigerante sin peligro a un eventual ingreso de líquido a la succión del compresor.

Hay dos tipos principales de válvulas de expansión:

- De ecualización externa.
- De ecualización interna.

La diferencia principal entre estos tipos de válvulas radica en el ajuste de recalentamiento. Para una válvula de ecualización interna es un ajuste de fábrica que no puede ser variado, mientras que en la válvula con ecualización externa existe la posibilidad de ajustar el recalentamiento dependiendo de las variables que influyan en el sistema.



Válvula de expansión termostática instalada a la entrada del evaporador.

Ilustración 26. Esquema de conexión de una válvula de expansión térmica.

Fuente: EMERSON. Catálogo General de Productos Válvulas, Controles y Protectores del Sistema Latinoamérica. Forma No. 2009FC-112 R1 (02/12)



Ilustración 27. Desarme completo de válvula de expansión SPORLAN.

*Fuente: Manual SPORLAN. "Válvulas de Expansión Termostática instalación, servicio y ensamble".
Boletín EXP(S1) 10-11*

6.7.5 Selección de válvula de expansión térmica.

- Tipo: SPORLAN tipo S - SPE-7.
- Refrigerante: R-507a.
- Capacidad nominal: 7 Toneladas de refrigeración.
- Conexiones:
 - Entrada: 7/8".
 - Salida 1 1/8".

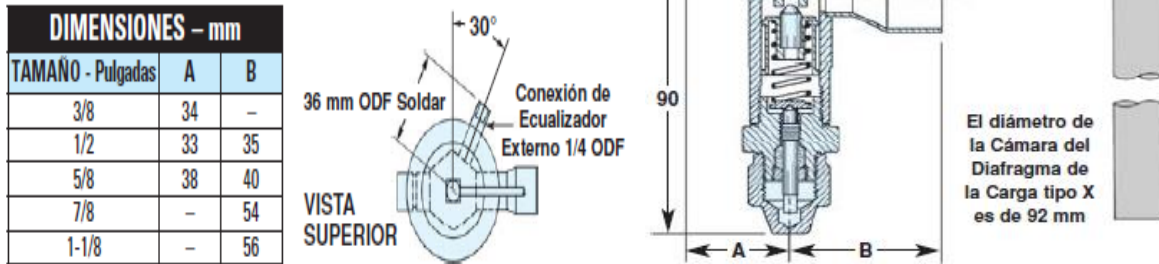


Ilustración 28. Dimensiones de válvula de expansión SPORLAN SPE-7.
Fuente:Manual SPORLAN. “Valvulas de expansión termostatica”. Boletin 10-10(S1).

6.7.6 Elementos de la unidad condensadora.

Solo se describirán los elementos que componen a la unidad condensadora pues sus capacidades y/o modelos fueron escogidos por el fabricante para cumplir con lo requerido por el cliente.

6.7.6.1 Acumulador de succión.

Una de las fallas más comunes en los compresores de refrigeración, es la inundación; es decir, el regreso de refrigerante y/o aceite líquidos en grandes cantidades.

Esto puede causar daños a los compresores, que van desde la dilución del aceite con refrigerante líquido, hasta el «Golpe de Líquido». Como es sabido, los líquidos no se comprimen y los compresores están diseñados para comprimir vapor únicamente, y tienen muy poca tolerancia para el refrigerante o el aceite líquidos.

Un acumulador de succión es, básicamente, un recipiente a presión, diseñado para evitar daños al compresor a causa de una inundación repentina de refrigerante o aceite líquidos, que pueden llegar por la línea de succión hacia el compresor. Es un depósito temporal para retener el exceso de esta mezcla de aceite y refrigerante

líquidos, y posteriormente enviarla en forma de gas, en una proporción que el compresor pueda manejar de manera segura.

6.7.6.2 Recibidor de líquido.

Es un cilindro o contenedor conectado a la salida del condensador, para almacenar refrigerante líquido en un sistema. En plantas con sistemas de varios evaporadores, el recibidor de líquido también actúa como tanque de transitorios. Otra función especial del recibidor de líquido consiste en trabajar como tanque de vaciamiento para refrigerante líquido, esta función es requerida cuando el sistema posee significativas variaciones de carga y se requiere un volumen de compensación en el sistema.

6.7.6.3 Visor.

De manera práctica se puede describir como una ventana al interior del circuito, a través de él solo debería pasar líquido saturado al 100% y su función es el monitoreo de condiciones que puedan servir para diagnosticar una falla. Por ejemplo si se observa un burbujeo en el visor entre otras cosas podría ser indicador de problemas de estrangulamiento en la tubería.

6.7.6.4 Filtro deshidratador.

En los inicios de la refrigeración mecánica, los sistemas no eran tan sensibles a los materiales extraños como lo son ahora. Los sistemas modernos están diseñados para operar a temperaturas más altas, usando compresores que trabajan a mayor velocidad y que son construidos con espacios más reducidos. Bajo estas condiciones, los contaminantes pueden causar problemas serios y sobre todo, reparaciones muy costosas.

Contaminantes

Los contaminantes son sustancias presentes en los sistemas de refrigeración, los cuales no tienen ninguna función útil y son dañinos para el funcionamiento adecuado del equipo. Los contaminantes más comunes en los sistemas de refrigeración son:

- Sólidos: Polvo, mugre, fundente, arena, lodo, óxidos de fierro y cobre, sales metálicas como cloruro de hierro y cobre, partículas metálicas como soldadura, rebabas, limaduras, etc.
- Líquidos: Agua, resina, cera, solventes y ácidos.
- Gaseosos: Aire, ácidos, gases no condensables y vapor de agua.

Un filtro deshidratador por definición, es un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para removerla humedad y otros contaminantes de un sistema de refrigeración

La aplicación de los desecantes en los sistemas de refrigeración, se logra encapsulándolos en dispositivos mecánicos llamados filtros deshidratadores. Un filtro deshidratador está diseñado para mantener seca la mezcla de refrigerante y aceite, adsorbiendo los contaminantes líquidos disueltos, tales como humedad y ácidos; y también, para retener por medio de filtración todas las partículas sólidas que estén siendo arrastradas a través del sistema por la mezcla de refrigerante aceite.

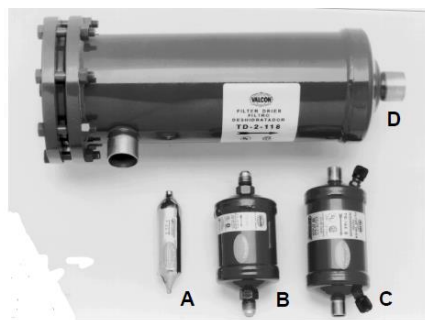


Ilustración 29. Diferentes tipos de filtros deshidratadores.
Fuente: Manual técnico de refrigeración EMERSON 2013.

El uso de los filtros deshidratadores en los sistemas de refrigeración, es la mejor manera de proteger los componentes del mismo, en el muy probable caso de que estos contaminantes estuvieran presentes en el sistema. La válvula de termoexpansión, el tubo capilar y el compresor, son los elementos más afectados por los contaminantes.

6.7.7 Termostato

Es el elemento que controla la temperatura de la cámara. Abre y cierra un contacto cuando se alcanza la temperatura de regulación. En él se establecen los rangos de funcionamiento del sistema y permite monitorear el comportamiento de los equipos respecto a su funcionamiento.

6.7.7.1 Selección del termostato.

- Marca: DIXELL
- Modelo: XR02CX-5N0C0
- Conexión 230 Vac.
- Rango de regulación -40 a 110°C (-40 a 230°F).
- No posee descongelamiento eléctrico.
- Display: 2 dígitos.
- Caja: frontal 32x74 mm; profundidad 50 mm



Ilustración 30. Termostato DIXELL.

Fuente: Manual de operación DIXELL "DIGITAL CONTROLLER".

6.7.8 Válvula solenoide.

Válvula diseñada para funcionar por acción magnética, a través de una bobina energizada eléctricamente. Esta bobina acciona un núcleo móvil, el cual abre o cierra la válvula.

Se coloca antes del dispositivo de expansión, es una válvula que contiene en su parte superior una bobina, dentro de la cual se desliza un vástago que controla el flujo con un funcionamiento de todo o nada.

La válvula solenoide es controlada por el termostato que energiza o des-energiza su bobina.

6.7.8.1 Selección de válvula solenoide.

- Marca: SPORLAN
- Modelo: E25S290.
- Conexión: 1 1/8" ODF.
- R-404a (compatible con el refrigerante R-507c).
- 15 Watts.



Ilustración 31. Válvula Solenoide SPORLAN E25S270.

Fuente: Manual SPORLAN, "Válvulas solenoide SPORLAN" Boletín 30-10.Catalogo 30-10 ES.

6.7.9 Cableado.

Se realizará todo el cableado dentro de la nave industrial siguiendo la norma NFPA 70 utilizando el método de “alambrado de conduit metálico rígido roscado o conduit metálico intermedio de acero roscado”. Este método permite la utilización de conduit sellado para la protección del cableado del sistema.



Ilustración 32. Ejemplo de tuberías eléctricas herméticas.

Fuente: <http://www.osinerg.gob.pe/>.

6.7.9.1 Selección de cable.

Para seleccionar el cable se utilizó la hoja de Excel brindada por la empresa IESA (anexo 3) en su página oficial, teniendo como resultados.

Tabla 35. Calibres y tipo de cables usados en el proyecto (Anexo 3).

Sección del Sistema	Calibre AWG	Aislamiento
Cableado de control.	14	THHW
Cableado de motores del evaporador.	14, 10	THHW
Cableado de luces.	8, 14	THHW

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos de la página www.iesacr.com.


Cabe destacar que parte del equipo se encuentra fuera de la nave industrial (unidad condensadora) por lo que no es necesaria la utilización de un método de alambrado especial en esta zona. En caso de una fuga de gas este se disolverá en el ambiente por lo que no serán necesarios sistemas de protección contra-explosiones para estos elementos.

6.7.10. Conduit a prueba de explosiones.

Se utilizara el conduit metálico rígido RMC (rigid metal conduit) como método de alambrado contra-explosiones. Este tipo de conduit posee canalización roscable, sección transversal circular diseñada para la protección física y el direccionamiento de conductores y cables. Se fabrica en acero (ferroso) con revestimiento protector de aluminio (no ferroso). Los tipos de uso especial son de latón rojo y de acero inoxidable.

Se seleccionan tubos de conduit rígido fabricados bajo las normas COVENIN 538, ANSI C80.1 y ANSI/UL 6. Estos tienen la superficie protegida contra la corrosión facilitando su instalación en concreto, en contacto directo con la tierra o en áreas de fuerte ambiente corrosivo. Los tubos de conduit rígido son roscados en los extremos para facilitar su instalación y además, son sometidos a un proceso de eliminación de rebaba interna que suprime cualquier borde o aspereza cortante, permitiendo la introducción de cables eléctricos sin riesgo de daños o roturas. Para el presente proyecto se utilizaran conduits con diámetros nominales de 1/2 y 3/4 de pulgada como los mostrados en el catálogo de productos GEDISA con códigos TUHRIG075 y TUHRIG050.

Tabla 36. Tabla de conduits metálicos rígidos distribuidos por GEDISA.

Código GEDISA	Diametro nominal pulgadas	DESCRIPCIÓN	Largo mts	Espesor nominal mm	Diametro exterior mm	numero hilos	longitud rosca mm	PRECIO	CONDUIT METALICO RIGIDO RMC
TUHRIG050	1/2"	CONDUIT METALICO RIG 1/2"	3	2,64	21,34	14,00	19,90		
TUHRIG075	3/4"	CONDUIT METALICO RIG 3/4"	3	2,72	26,67	14,00	20,20		
TUHRIG100	1"	CONDUIT METALICO RIG 1"	3	3,20	33,40	11,50	25,00		
TUHRIG150	1 1/2"	CONDUIT METALICO RIG 1 1/2"	3	3,51	48,26	11,50	26,00		
TUHRIG200	2"	CONDUIT METALICO RIG 2"	3	3,71	60,33	11,50	26,90		
TUHRIG300	3"	CONDUIT METALICO RIG 3"	3	5,21	88,90	8,00	41,40		
TUHRIG400	4"	CONDUIT METALICO RIG 4"	3	5,72	114,30	8,00	44,00		

Fuente: <http://www.gedisa.com.ve/>

Los accesorios de la marca CROUSE-HINDS son muy utilizados en sistemas de tubería conduit roscada en áreas peligrosas para facilitar el alambrado y hacer empalmes y derivaciones de los conductores. Están construidos generalmente en aluminio libre de cobre y con acabado de pintura electrostática, como acabado opcional se encuentra el recubrimiento exterior de P.V.C. e interior de uretano rojo. Cumplen con los requerimientos para lugares clase 1 división 1 grupo D de la normativa NFPA.

Condulets:

Para el presente proyecto se utilizarán cajetines de conexión y empalme de tapa roscada para el halado de cables y para conectar tramos de conduit donde existe cambio en la dirección. También se utilizan cuando se quiere realizar la conexión de equipos como: luminarias, derivaciones para motores, etc. o cualquier tipo de instrumento.

Tabla 37. Dimensiones de condulets para tubería conduit a prueba de explosiones.

Dimensiones mm	Pulg.	Pintado		Recubierto de PVC		Pintado		Recubierto de PVC	
		Pintado	Recubierto de PVC	Pintado	Recubierto de PVC	Pintado	Recubierto de PVC	Pintado	Recubierto de PVC
13	1/2"	GUA16	GUA16PVC	GUAB16	GUAB16PVC	GUAC16	GUAC16PVC	GUAL16	GUAL16PVC
19	3/4"	GUA26	GUA26PVC	GUAB26	GUAB26PVC	GUAC26	GUAC26PVC	GUAL26	GUAL26PVC
25	1"	GUA36	GUA36PVC	GUAB36	GUAB36PVC	GUAC36	GUAC36PVC	GUAL36	GUAL36PVC
32	1 1/4"	GUA49	GUA49PVC	GUAB49	GUAB49PVC	GUAC49	GUAC49PVC	GUAL49	GUAL49PVC
38	1 1/2"	GUA59	GUA59PVC	GUAB59	GUAB59PVC	GUAC59	GUAC59PVC	GUAL59	GUAL59PVC
51	2"	GUA69	GUA69PVC	GUAB69	GUAB69PVC	GUAC69	GUAC69PVC	GUAL69	GUAL69PVC

Fuente: *Catálogo de productos CROUSE-HINDS.*

Tabla 38. Dimensiones de condulets para tubería conduit a prueba de explosiones.



Dimensiones mm	Pulg.	Pintado	Recubierto de PVC	Pintado	Recubierto de PVC	Pintado	Recubierto de PVC
13	1/2"	GUAT16	GUAT16PVC	GUAX16	GUAX16PVC	GUFX16	GUFX16PVC
19	3/4"	GUAT26	GUAT26PVC	GUAX26	GUAX26PVC	GUFX26	GUFX26PVC
25	1"	GUAT36	GUAT36PVC	GUAX36	GUAX36PVC	GUFX36	GUFX36PVC
32	1 1/4"	GUAT49	GUAT49PVC	GUAX49	GUAX49PVC		
38	1 1/2"	GUAT59	GUAT59PVC	GUAX59	GUAX59PVC		
51	2"	GUAT69	GUAT69PVC	GUAX69	GUAX69PVC		

Fuente: Catalogo de productos CROUSE-HINDS.

Se seleccionan los modelos GUA26PVC, GUA16PVC, GUAT26PVC y GUAT16PVC.

Sellos:

Los sellos previenen el paso de vapores y llamas de una sección del sistema ó área peligrosa hacia otra sección no peligrosa y evitan en caso de explosión que la llama que se genera en el interior del envolvente no se extienda a través de la tubería.

Se utilizan con la fibra de vidrio EXFV y el compuesto sellante EXCRV para lograr el sellado. Pueden ser colocados en tendidos cuya tubería que se encuentra en posición vertical u horizontal y solo posición vertical.

La fibra EXFV se utiliza en los sellos cortafuegos para detener el flujo del compuesto sellante que será depositado en el mismo y mantener los conductores separados entre sí.

El bicomponente EXCRV es el sellante que se añade en los sellos cortafuegos, impide el paso de los gases, vapores o llamas a través de la tubería.

Tabla 39. Dimensiones de sellos para tubería conduit a prueba de explosiones.

EYS PARA SELLAR TUBERÍA EN CUALQUIER ÁNGULO

Diámetro MM	Catálogo hembra	Catálogo hembra con p.v.c	Catálogo macho	Catálogo macho con p.v.c
13	EZS1	EZS1PVC	EZS16	EZS16PVC
19	EZS2	EZS2PVC	EZS26	EZS26PVC
25	EZS3	EZS3PVC	EZS36	EZS36PVC
32	EZS4	EZS4PVC	EZS46	EZS46PVC
38	EZS5	EZS5PVC	EZS56	EZS56PVC
51	EZS6	EZS6PVC	EZS66	EZS66PVC



Fuente: Catalogo de productos CROUSE-HINDS.

Se seleccionan los sellos EZS2PVC, EZS1PVC, EZS16PVC Y EZS26PVC.

Tuercas de Unión:

Las tuercas unión son instaladas en tuberías conduit roscadas para conectar el conduit a cajas de registro o envolventes. Facilitan cualquier cambio de los sistemas de tubería conduit.

Tabla 40. Dimensiones de tuercas para tubería conduit a prueba de explosiones.

UNY		MACHO	
Diámetro Nominal	Catálogo	Longitud	Diámetro Exterior
13mm (1/2")	UNY105	57.1	34.7
19mm (3/4")	UNY205	57.1	40.9
25mm (1")	UNY305	63.5	47.1
32mm (1 1/4")	UNY405	80.7	66.7
38mm (1 1/2")	UNY505	89.7	77.7
51mm (2")	UNY605	95.2	95.7
63mm (2 1/2")	UNY705	117.1	109.1
76mm (3")	UNY805	127	128.5
102mm(4")	UNY1005	142.5	156.9



UNF		HEMBRA	
Diámetro Nominal	Catálogo	Longitud	Diámetro Exterior
13mm (1/2")	UNF105	57.1	34.7
19mm (3/4")	UNF205	57.1	40.9
25mm (1")	UNF305	63.5	47.1
32mm (1 1/4")	UNF405	80.7	66.7
38mm (1 1/2")	UNF505	89.7	77.7
51mm (2")	UNF605	95.2	95.7
63mm (2 1/2")	UNF705	117.1	109.1
76mm (3")	UNF805	127	128.5
102mm(4")	UNF1005	142.5	156.9



Fuente: Catalogo de productos CROUSE-HINDS.

Se seleccionan las tuercas UNF205, UNY 205 y UNF 105, UNY 105.

Conectores myers

Es el conector ideal para usos general con tubería conduit. Realiza un sello efectivo, así como una buena conexión a tierra. Cuenta con anillo aislante.



Ilustración 33. Conector Myers

Fuente: Catalogo de productos CROUSE-HINDS.

Tabla 41. Tabla con Basic Sru-tite (mayer) para diferentes diámetros.

Diámetro		Catálogo	
mm	Pulg	Zinc	Aluminio
6	1/4	ST02	
9.5	3/8	ST03	
13	1/2	ST1	STA1
19	3/4	ST2	STA2
25	1	ST3	STA3
32	1.1/4	ST4	STA4
38	1.1/2	ST5	STA5
51	2	ST6	STA6
63	2.1/2	ST7	STA7
76	3	ST8	STA8
101	4	ST10	STA10
127	5	ST11	STA11
152.4	6	ST12	STA12

Fuente: Catalogo de productos CROUSE-HINDS.

Se seleccionan las los conectores STA2 y STA1.

Tabla 42. Tabla con codos conduit para diferentes diámetros.

Diámetro Nominal	Catálogo 90°	Catálogo 45°
13mm (1/2")	EL19	EL1
19mm (3/4")	EL29	EL2
25mm (1")	EL39	EL3
32mm(1.1/4")	EL49	EL4
38mm(1.1/2")	EL59	EL5
51mm (2")	EL69	EL6



Fuente: Catalogo de productos CROUSE-HINDS.

Se seleccionaron tanto el EL29 y EL19 como el EL2 y el EL1.

Estos accesorios forman parte de la tubería eléctrica que debe ser instalada dentro del recinto antiexplosiones las uniones serán selladas con fibra EXFV para garantizar la hermeticidad de la tubería.

Para la soportería tanto del tubo de conduit como de la tubería de cobre se utilizará el conocido “Bi-line” que es un riel estructural de 1 5/8” por 13/16” y tres metros de largo utilizado para fijar tuberías.

6.7.11. Luminarias a prueba de explosiones.

Para calcular la cantidad de lámparas se utilizará el método de los lúmenes como se describe a continuación.

Dimensiones del recinto:

a = ancho (en m) = 11,34 m

b = largo (en m) = 23,45 m

H = alto (en m) = 7,60 m

Altura de trabajo:

Se determina el tipo de actividad que se va a realizar en el recinto para buscar los niveles adecuados de iluminación. Es por tanto importante fijar la altura del plano de trabajo, en casos como pasillos, vestíbulos, halls, etc. se considera que la altura del plano de trabajo es 0. Para el cuarto refrigerado se determinará una altura de 0 m.

Nivel de iluminancia media (Em):

Su valor depende del tipo de actividad dentro del edificio. Los valores del nivel de iluminancia media se pueden encontrar tabulados en la Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Esta norma define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Sus recomendaciones, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, y permiten crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones. Al ser un almacén el nivel de iluminancia se determinara en 200 lux.

Tabla 43. Indicé UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños.	25	100	150	200
Almacenes, bodegas.	25	100	150	200
Talleres de ensamble				
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	25	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías de	22	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	16	1000	1500	2000

Fuente:UGR, Norma UNE EN 12464-1 de 2003.

Lámparas a utilizar:

Se eligen las luminarias LED Serie EVLL Hazard Gard a prueba de explosiones de la marca CROUSE-HINDS.

Altura a la que se suspenderán las lámparas seleccionadas:

Se estima una altura óptima con la ecuación:

Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (H - h')$	Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (H - h')$
--	---	---

Ecuación 4. Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada.

Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Gilberto Enríquez Harper.

Donde:

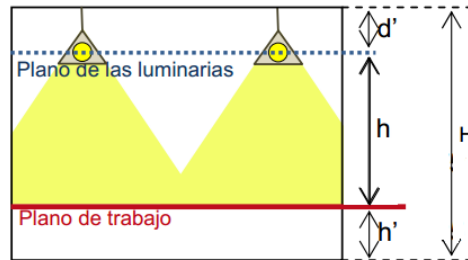


Ilustración 34. Esquema de alturas del recinto

Fuente: Diagrama realizado en microsoft pain.

Por tanto la altura óptima para la colocación de las lámparas será de 6 m.

Coeficiente de utilización (Cu):

El coeficiente de utilización, nos indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo. Generalmente los fabricantes proporcionan tablas que ayudan a determinar este factor, que son las denominadas tablas del factor de utilización. Este coeficiente será tanto más grande cuanto mayores sean los coeficientes de reflexión, mayor sea la altura y longitud y cuanto menor la altura del plano de trabajo.

El coeficiente de utilización, por tanto, se encuentra tabulado y es un dato que debe facilitar el fabricante. Para el uso de las tablas de la marca CROUSE-HINDS se utiliza la relación de cavidad del cuarto refrigerado y sus coeficientes de reflexión.

Relación de cavidad del cuarto (RC):

El índice del local (RC) se averigua a partir de la geometría de del cuarto.

$$\text{Relación de cavidad del cuarto} = \frac{5 * h * (a + b)}{a * b}$$

Ecuación 5. Cálculo de la relación de cavidad de cuartos rectangulares.

Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Gilberto Enríquez Harper

Donde:

a = ancho.

b = largo.

h = altura hasta las lámparas.

Así entonces el índice del recinto para el proyecto desarrollado es de 3,92 aplicando redondeo se utilizará el factor de 4.

Coeficientes de reflexión:

La reflexión de la luz depende el tipo de material o superficie en el que incide, por tanto, no es lo mismo que los acabados de tu local sean de un material u otro en cuanto a la luz se refiere. Los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado.

Si no se dispone de ellos, se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 44. Ejemplos de coeficientes de reflexión.

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRON CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRON OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Fuente: <http://riunet.upv.es/>.

Si falta algún coeficiente, se recomienda tomar: 0,5 para el techo, 0,3 para las paredes y 0,1 para el suelo. Para el cuarto refrigerado se tomaran los coeficientes:

- Paredes (blanco)= 0,50-0,75. Paredes color hueso.
- Suelo (gris oscuro)=0,1-0,20. Piso cemento.
- Techo (blanco)= 0,50-0,65.

Mogul Base

Luminaire with Globe and Dome Reflector (Less Guard)

EVIA2500 Lamp: 500W/PS40 Incandescent

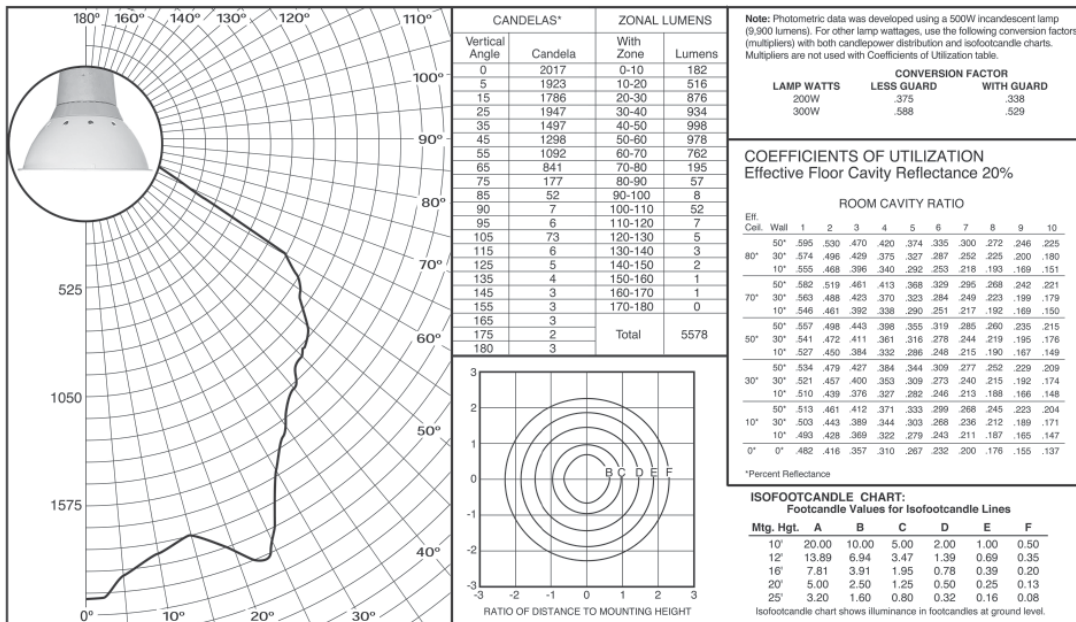


Ilustración 35. Comportamiento de la luminaria EVIA2500. CROUSE-HINDS.

Fuente: Catalogo EVI series explosionproof factory sealed incandescent luminaires.

Utilizando la tabla de coeficiente de utilización del fabricante (Ilustración 36) se toma el valor Cu como 0,400.

Coeficiente de mantenimiento (Cm)

Este coeficiente hace referencia a la influencia que tiene en el flujo que emiten las lámparas el grado de limpieza de la luminaria. Dependerá, por consiguiente, del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Para determinarlo, suponiendo una limpieza periódica anual, se pueden tomar los siguientes valores:

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Ilustración 36. Cálculo del coeficiente de mantenimiento.

Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Gilberto Enríquez Harper.

Para el presente proyecto se estimará un ambiente limpio, por tanto se toma el valor de 0,8. Una vez obtenidos todos los valores se procede a calcular el flujo luminoso total necesario a través de la ecuación:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m}$$

Ecuación 6. Cálculo del flujo luminoso total necesario.

Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Gilberto Enríquez Harper

Donde:

Φ_T = Flujo luminoso total.

E_m = Nivel de iluminancia media.

S = Superficie de piso iluminado (sin racks).

C_u = Coeficiente de utilización.

C_m = Coeficiente de mantenimiento.

Sustituyendo los valores calculados se determina un flujo luminoso necesario de **110 052,13** lúmenes.

Número de luminarias necesarias.

El número de luminarias se calcula según la ecuación:

$$NL = \frac{\Phi_T}{\Phi_L * n}$$

Ecuación 7. Cálculo del número de luminarias necesarias para una iluminación correcta.

Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. Gilberto Enríquez Harper

Donde:

NL = Número de luminarias.

Φ_T = Flujo luminoso total.

Φ_L = Flujo luminoso por lámpara.

n = Lámparas por luminaria.

Sustituyendo todos los valores se determina que son necesarias 20 lámparas modelo EVIA-2500 para cumplir con los requerimientos de iluminación del sitio.

El modelo de luminaria seleccionado posee certificaciones NFPA para lugares clase 1, división 1, grupo D. Además está diseñada para trabajar en rangos de temperatura que van desde los -40°C a +65°C, brindando alrededor de 6000 lumens de iluminación con un consumo de 500 Watts.



Ilustración 37. Ejemplo de luminaria serie EVIA. CROUSE-HINDS
Fuente: Catalogo EVI series explosionproof factory sealed incandescent luminaires.

6.7.12. Generalidades de los accesorios.

La bobina solenoide estará instalada fuera del recinto, pero buscando una ubicación lo más cercana posible al evaporador, esto para evitar que en etapas de no funcionamiento migre líquido acumulado en la tubería (entre la válvula solenoide y el evaporador) hacia el compresor cuando ocurra de nuevo el arranque. Puede darse también la formación de hielo en el serpentín del evaporador debido a que este seguirá evaporando el refrigerante acumulado en la tubería por tanto enfriando el cuarto a pesar de que el sistema se encuentre apagado.

La instalación de los evaporadores no incluirá la utilización de un manifold. Esto debido a que solo son 2 evaporadores por circuito lo que brinda la posibilidad de colocarlos exactamente a la misma distancia desde el punto de unión en "T". Con este cuidado se busca evitar desigualdades en el llenado de los evaporadores y obtener un funcionamiento eficiente del sistema.

6.7.13 Aislamientos de tubería.

En un ciclo real de refrigeración existen pérdidas que deben ser minimizadas con el objetivo de alcanzar la mayor eficiencia posible del sistema. Alcanzar un ciclo de refrigeración ideal es un reto para la ingeniería actual. Una de las medidas que ayudan a disminuir pérdidas en los sistemas refrigerados es la instalación de aislamientos en la tubería de succión. Esto conlleva además a un ahorro de energía gracias a un mejor aprovechamiento de la misma.

El aislante utilizado actualmente se compone de un elastómero sintético celular que se conoce como “cañuela”. Refrigeración industrial BEIRUTE, maneja generalmente 2 espesores:

- 3/4 de pulgada para sistemas de mantenimiento fresco.
- 1 pulgada para sistemas de mantenimiento congelado.

En el cuarto de mantenimiento fresco diseñado, se especifica el uso de “cañuela” de $\frac{3}{4}$ de pulgada de espesor para la tubería de succión de 2 $\frac{1}{8}$ de pulgada.

Algunas ventajas:

- Ligero.
- Previene la corrosión.
- Flexible.
- Bajo costo.



Ilustración 38. Aislamiento de tubería, “cañuela”.

Fuente: <http://www.ayfisa.com/>.

6.8 CIRCUITO FINAL DE REFRIGERACIÓN.

Una vez seleccionados todos los elementos del sistema se presenta a continuación un esquema general de un circuito de refrigeración tradicional.



Ilustración 39. Diagrama del circuito de refrigeración propuesto para un cuarto de mantenimiento fresco para materia prima.

Fuente: <http://www.tecnologia-industrial.es/>.

CAPÍTULO 7. CONSUMO ELÉCTRICO DE EQUIPOS.

Al realizar un análisis comparativo del consumo eléctrico general de los equipos de refrigeración existentes contra los equipos proyectados, se puede observar una disminución de la factura eléctrica por concepto de refrigeración. El diseño propuesto es capaz de manejar la carga térmica estimada del cuarto con compresores de menor caballaje lo que beneficiará económicamente al cliente. Los cálculos de consumo se proyectan con de los datos brindados por los fabricantes, por consiguiente se considera un estimado general de la potencia consumida por los equipos, puesto que no se toma en cuenta ningún otro factor de la red que pueda influir en el consumo.

Así entonces la siguiente tabla muestra la facturación estimada durante 1 año del sistema existente bajo condiciones normales de consumo:

Tabla 45. Consumo eléctrico actual estimado.

UNIDADES CONDENSADORAS			
Consumo	31,56		Kw
Uso diario	18		Hrs
N° días/ mes	30		Días
N° meses	12		Meses
Tarifa / Kw / h	0,15		US \$
TOTAL	US \$	30673,21	anual

UNIDADES EVAPORADORAS			
Consumo	6,97		Kw
Uso diario	22		Hrs
N° días/ mes	30		días
N° meses	12		Meses
Tarifa / Kw / h	0,15		US \$
TOTAL	US \$	8279,88	Anual

Fuente: Tabla desarrollada en microsoft Excel (Anexo N°2).

Sumando los consumos se calcula un consumo actual por equipos de refrigeración de **\$38 953,09**.

Calculando el consumo de los nuevos equipos seleccionados:

Tabla 46. Consumo eléctrico estimado por equipos propuestos.

UNIDADES CONDENSADORAS			
Consumo	28,50	Kw	
Uso diario	18	Hrs	
N° días/ mes	30	Días	
N° meses	12	Meses	
Tarifa / Kw / h	0,15	US \$	
TOTAL	US \$	27 699,98	Anual

UNIDADES EVAPORADORAS			
Consumo	4,18	Kw	
Uso diario	22	Hrs	
N° días/ mes	30	Días	
N° meses	12	Meses	
Tarifa / Kw / h	0,15	US \$	
TOTAL	US \$	4967,93	Anual

Fuente: Fuente: Tabla desarrollada en microsoft Excel (Anexo N°2).

Sumando los datos se obtiene un consumo futuro por equipos de refrigeración de **\$ 32 667,91**.

Esto traería un ahorro anual de **\$ 6 285,18** a la empresa cliente siendo una ventaja no estimada inicialmente.

Aunque el proyecto realizado no encuentra su justificación principal en el tema de consumo eléctrico el cambio de equipos reducirá el mismo, produciendo un beneficio adicional en la propuesta proyectada.

Cabe aclarar que solo se contemplan en el cálculo de consumo, las unidades evaporadoras y las unidades condensadoras no se incluyen ni luces ni ningún otro elemento correspondiente al cuarto refrigerado o sus alrededores. Es también otro punto a aclarar el tiempo de funcionamiento de los equipos, las unidades evaporadoras tendrán más horas de funcionamiento diario debido a la necesidad de circulación de aire solo se detendrán en los periodos de “deshielo”. A pesar de que en el cuarto refrigerado no se estima la presencia de hielo se programan periodos de deshielo para permitir un descanso a los equipos de evaporación.

CAPÍTULO 8. PANELERÍA.

Refrigeración industrial BEIRUTE trabaja normalmente con panel TERNIUM de 2,50 y 4 pulgadas de espesor, esto dependiendo el tipo de camara que se desea. Cuartos refrigerados para mantenimiento fresco se contruyen con panel de 2,50 pulgadas mientras que cuartos para mantenimiento congelado se contruyen con panel de 4 pulgadas. Respetando siempre normativa ASHRAE.

En el presente proyecto y debido a sus características se utilizara panelería de 2,5 pulgadas de espesor marca TERNIUM con las siguientes características:

- Aislante tipo sándwich de fabricación en línea continúa.
- Cuenta con un sistema integral de accesorios metálicos y no metálicos necesarios para una solución libre de filtraciones y puentes térmicos.
- Acero grado SS37.
- Calibre 26, acabado liso o esbozado.
- Pintado esmaltado al horno.
- Núcleo de espuma rígida de poliuretano libre de CFC, con 40 Kg/m³ de densidad media.
- Estructura interna de 90 % de celdas cerradas, normas: ASTM D-1622 y ASTM D-2856.
- Factor de conductividad térmica, $k=0.123 \text{ BTU in / (Hr)(Pie}^2\text{)}(^{\circ}\text{F)}$, a una temperatura de 75°F(24°C), norma ASTM C-518.
- Compresión 25 psi con 10% de deflexión de cedencia, ASTM D - 1621.
- Transmisión de vapor: índice de permeabilidad máxima de 1.3, ASTM E – 96.

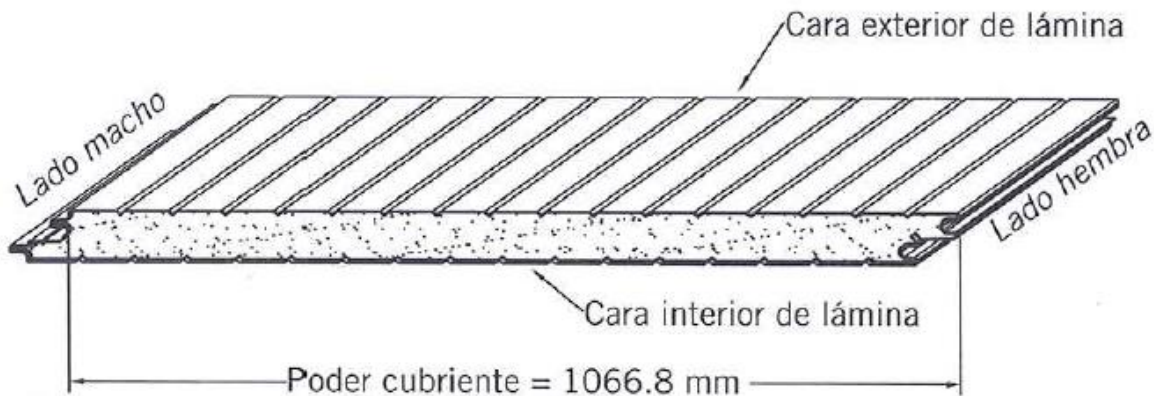


Ilustración 40. Panel aislante marca TERNIUM.
Fuente: Manual de instalación TERNIUM Multypanel.

8.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL CUARTO:

- Las paredes y el cielo se colocan con paneles prefabricados.
- En las uniones pared - pared y cielo - pared se colocan angulares de aluminio sanitarios y en toda junta se aplica sellador de silicona para garantizar hermeticidad total.
- Todas las esquinas exteriores se rellenan con poliuretano formado en el lugar, y se cubre con precinta de acero galvanizado y esmaltado en color blanco, con acabado similar al de los paneles.
- Se incluyen accesorios de instalación tales como esquineros exteriores, angulares sanitarios de aluminio, sellador de silicona y butilo.
- Cortinas plásticas especiales para trabajar en bajas temperaturas.

Tabla 47. Características de panelería de techo y paredes.

Sección	Material	Espesor	Conductividad térmica
Techo	Poliuretano	2,50 pulgadas	0,132 BTU/hr ft °F
Pared	Poliuretano	2,50 pulgadas	0,132 BTU/hr ft °F

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos del Catalogo de productos TERNIUM.

Para realizar la instalación de panelería se debe tomar en cuenta el estado de la zona donde se realizara el trabajo, niveles de piso, puntos de sujecion, distancias a la alimentación electrica (desde la camara), drenajes, entre otras cosas son factores que determinan un levantamiento estructural eficiente y de calidad. Los paneles aislantes requieren ciertos cuidados en su manejo y almacenaje que deben ser respetados para que el producto mantenga sus características de fabricación. Algunos de estos cuidados incluyen:

- Evitar maniobras que puedan flexionar el panel.
- Proteger las superficies expuestas cuando se realicen trabajos posteriores a la instalación.
- Realizar una estibación segura siguiendo recomendaciones del fabricante como:
 - 1) Colocar apoyos en las láminas.
 - 2) Guardar una pendiente de inclinación para el almacenamiento.
- Realizar la descarga de material entre varias personas manejando las láminas de canto para evitar marcas o inperfecciones.

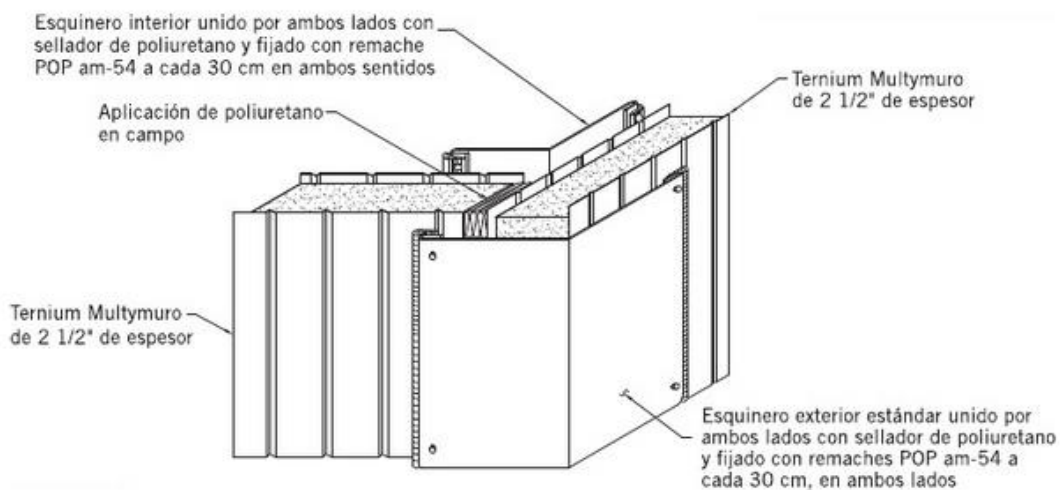


Ilustración 41. Ejemplo de montaje de paredes de un cuarto de mantenimiento fresco.

Fuente: Manual de instalación TERNIUM Multypanel.

Debido a las dimensiones del cuarto se considera realizar una sujeción del panel superior a la estructura de techo de la nave industrial, a travez de barras roscadas de ½ pulgada similar a lo mostrado en la ilustración 43.

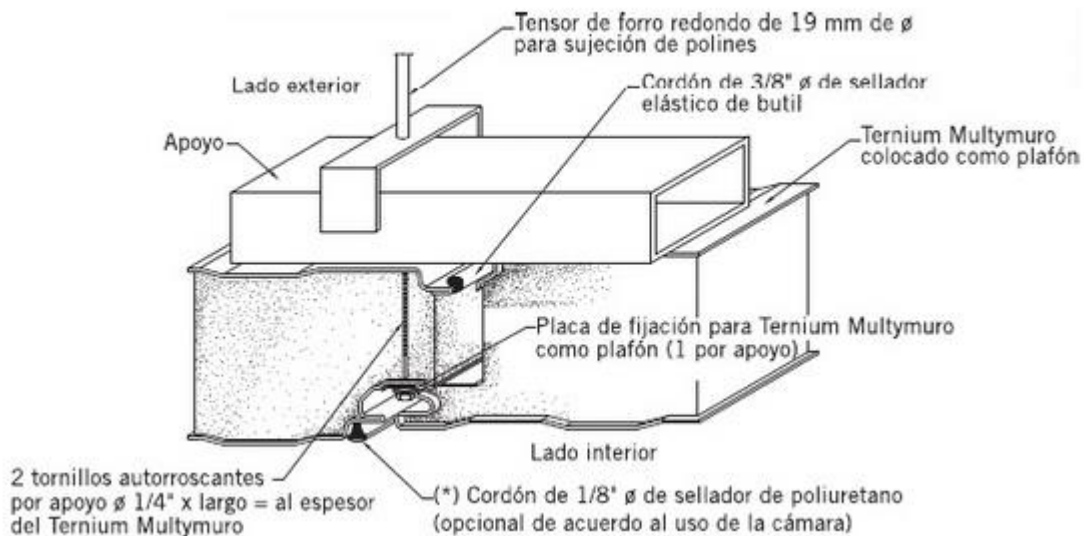


Ilustración 42. Ejemplo de fijación para suspensión de techo.

Fuente: Manual de instalación TERNIUM Multypanel.

Las características estructurales del panel permiten la colocación de 12 barras roscadas distribuidas como lo muestra la ilustración 45, se utiliza el elemento de fijación de paneles llamado “apuchon”, que consiste en una barra con una cabeza terminal plana ubicada dentro del cuarto que brinda un detalle de acabado aceptable y permite asegurar el techo del recinto. El “apuchon” también es utilizado para la fijación de las unidades evaporadoras, en ambos casos siempre teniendo en cuenta el sellado adecuado con siliconas para garantizar la hermeticidad del recinto.

Cabe destacar que un cuarto refrigerado no se diseña para soportar ningún tipo de peso extra sobre su techo, sin embargo debe garantizar la seguridad del personal de mantenimiento que deba caminar sobre él. La colocación de las barras roscadas

además ayudara a evitar cualquier tipo de pandeo del panel debido a las dimensiones del recinto.

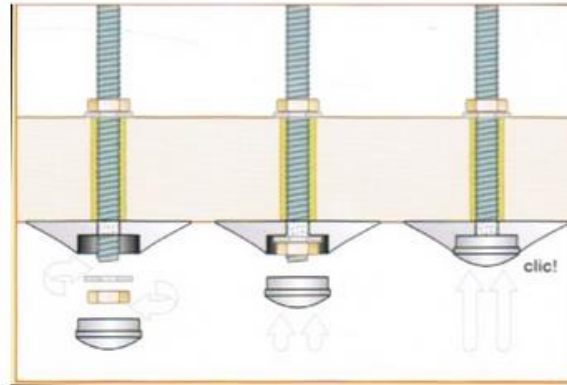


Ilustración 43. Ejemplo de apuchon para fijación de techo.
Fuente: <http://www.panelsandwich.org/>.

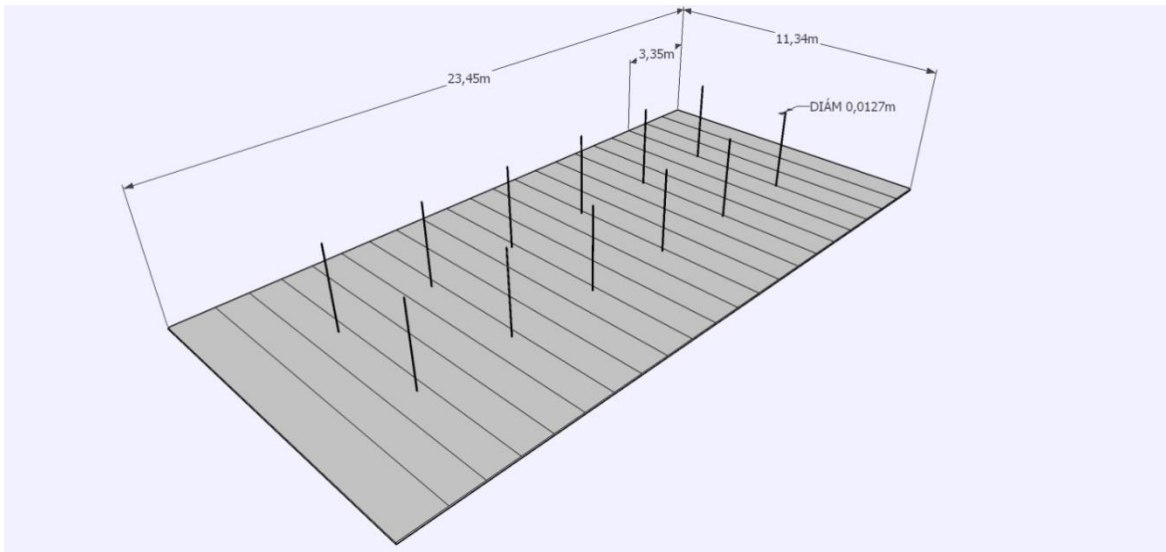


Ilustración 44. Distribución de suspensiones de techo.
Fuente: Elaborado en software de ingeniería Sketh up.

CAPÍTULO 9. PRESUPUESTO.

Debido a políticas de la compañía el presupuesto que se presenta a continuación es de tipo general, no detalla costos en materiales, equipos ni mano de obra. Algunos de los equipos seleccionados no se manejan en el inventario debido a sus características, por lo que la cotización debe incluir el importe de las unidades evaporadoras y las unidades condensadoras con algunos accesorios que completaran dichas unidades. El costo de estos equipos incluirá su importación y traslado hasta las bodegas de la compañía BEIRUTE.

Tabla 48. Tabla costos de equipos de refrigeración seleccionados.

EQUIPOS	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Unidad Condensadora	BLV1501H6C	2	\$15715	\$31430
Unidades Evaporadoras	071.2E/212-ANU50.M	4	\$9925	\$39700
			TOTAL	\$71 130

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos de la base de datos de la compañía Refrigeración Industrial BEIRUTE.

Tabla 49. Tabla de costos de algunos de los accesorios seleccionados.

ACCESORIOS	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Válvula de expansión	SPORLAN SPE-7.	4	\$ 210,15	\$ 840,60
Válvula solenoide	E25S290.	2	\$ 203,81	\$ 407,62
Termostato	DIXELL XR02CX-5N0C0	2	\$55	\$110
			TOTAL	\$ 1358,22

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos de la base de datos de la compañía Refrigeración Industrial BEIRUTE.

Tabla 50. Tabla de costos de algunos materiales de construcción seleccionados.

MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Tubería rígida de cobre	1	\$3925	\$ 4 300
Accesorios para tubería de cobre	1	\$1339,48	\$ 1 339,48
Elementos para instalación	1	\$1930,60	\$ 1 930,60
Aislante	1	\$506,53	\$506,53
		TOTAL	\$ 8 076,01

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos de la base de datos de la compañía Refrigeración Industrial BEIRUTE.

Tabla 51. Tabla costos de panelería.

PANELERÍA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Panel (11,90m x 1.16m x 0,0635m)	1	\$44175,20	\$ 44 550,20
Puertas	2	\$ 4996,6	\$ 9 993,2
		TOTAL	\$54 543,20

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos de la base de datos de la compañía Refrigeración Industrial BEIRUTE.

Tabla 52. Costo total del proyecto.

Concepto	Precio Total.
Instalación (Mano de obra)	\$19 147,89
Equipos y accesorios	\$164 753,05
TOTAL	\$205 319,27 ivi

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos extraídos de la base de datos de la compañía Refrigeración Industrial BEIRUTE.

CAPÍTULO 10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

10.1 VENTAJAS

- Se adquiere un mayor compromiso ambiental, realizando el cambio de refrigerante dentro de los periodos establecidos en el protocolo de Montreal.
- Con el cambio de equipos se estima un ahorro aproximado de \$ 6 285,18 anuales en electricidad por concepto de refrigeración.
- Existe un aumento de la seguridad laboral dentro de la nave industrial donde se ubica el cuarto, procurando garantizar bajo la normativa NFPA la protección contra explosiones.
- Se contará con equipo y panelería nuevos para el almacenamiento de materia prima. Esto permite establecer planes de mantenimiento que ayuden a alargar la vida útil de los equipos manteniendo altos niveles de eficiencia y confiabilidad.
- Se proponen mejoras importantes en el diseño existente que permitirán mejorar las condiciones de funcionamiento de los equipos.

10.2 DESVENTAJAS

- Existe un costo de inversión muy importante que podría limitar la aceptación del proyecto.

CAPITULO 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

11.1 CONCLUSIONES.

1. El estudio del producto y las condiciones del sistema, permitieron proponer un cambio de equipos que provocarán una reducción en el consumo eléctrico por concepto de refrigeración, sin sacrificar las capacidades necesarias para el mantenimiento del producto.
2. Se realizan mejoras de diseño que permitirán no solo una mejor estética en el recinto sino también mejores condiciones de funcionamiento para los equipos.
3. El cambio de refrigerante contribuye con lo establecido en el protocolo de Montreal y permite obtener un sistema con un potencial de agotamiento de la capa de ozono igual a cero.
4. La colocación de 2 unidades condensadoras BLV1501H6, permitirá una mejor mantenibilidad del sistema aumentando la confiabilidad en los equipos bajo buenos planes de mantenimiento.
5. Existe mayor seguridad del personal dentro de la planta gracias al cumplimiento de normativa NFPA contra explosiones en los equipos y accesorios dentro del cuarto refrigerado.
6. Se determina una carga térmica total de 326 335,687 BTU/hr para la cámara de almacenamiento de materias primas, tomando en cuenta los diferentes tipos de cargas térmicas presentes en el sistema.
7. Se logra una propuesta de diseño competitiva que cubre las necesidades de la empresa cliente.

11.2 RECOMENDACIONES.

1. Realizar un estudio sobre las cantidades reales de producto y su movilidad dentro de la empresa, estodurante un periodo de tiempo determinado por un especialista, con el fin de analizar la posibilidad de incorporar un rack de compresores que permita adaptarse a una cantidad de producto cambiante.
2. Para llevar a Costa Rica, como país ecológico, a la vanguardia en el cumplimiento de medidas de protección ambiental como las establecidas en el protocolo de Montreal, se recomienda avanzar hacia el cambio de refrigerantes en la industria de refrigeración y contribuir con un menor impacto al planeta.

12. BIBLIOGRAFÍA.

H. Heacox & R. Burns, General Guide for Refrigerated Container Inspection and Repair, Institute of International Container Lessors, LTD, IICL, USA 2005, Third Edition.

Refrigeração Técnica. Refrigeração Comercial. Primera edición (2007). Editorial NOVA TECNICA LTDA, Sao Paulo 2007.

Manual de Ingeniería. HEATCRAFT. Décima edición (1994). Editorial STRONG LGL INTERNATIONAL, Miami Florida 1994.

ASHRAE HANDBOOK. REFRIGERATION (1990) SYSTEMS AND APLICATIONS)
Edición en español.

Manual del Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)
CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, MC GRAW HILL, NEW YORK 1992.

Carrier Transicold, Operación y Servicio: Unidad de Refrigeración par Contenedores,
Carrier Corporation, United States 2000, Catalog: T-285-04S.

Roy J. Dossat. *Principios de Refrigeración*. Décimo cuarta edición (1994). Editorial CECSA, México 1994.

Manual HUSSMAN, Curso de sistemas en Paralelo, 2012. Editorial STRONG LGL INTERNATIONAL, Miami Florida 1994.

Manual del montador electricista: el libro de consulta del electrotécnico. Edited by Terrell Croft, Clifford L. Carr, John H. Watt.

Manual de refrigeración. Juan Manuel Franco Lijó

Nueva Enciclopedia Universal. Earl M. Weiner y J. P. Cavero (2005). Volumen 3.

Páginas WEB:

<http://www.bitzer.cn/esl/Home>. Software de BITZER, 2014. Consultado el día jueves 09 de setiembre, a las 15:00 horas.

www.sporlan.com/Home. Manual de Accesorios Sporlan, 2014. Consultado el día miércoles 14 de setiembre, a las 16:30 horas.

<http://www.tecumseh.com/es/south-america/products/condensing-units>. Consultado el día miércoles 20 de setiembre, a las 18:30 horas.

<http://www.ozone.unep.org>. Consultado el día miércoles 20 de Octubre, a las 1:30 horas.

<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>. NASA, Comportamiento de la capa de ozono. Consultado el día miércoles 23 de Octubre, a las 23:14 horas.

<http://www.tecnologia-industrial.es/> Consultado el día miércoles 20 de Octubre, a las 10:30 horas.

<http://www.ayfisa.com/>. Consultado el día miércoles 21 de Octubre, a las 01:30 horas.

<http://www.gedisa.com.ve/> Consultado el día miércoles 22 de Octubre, a las 11:30 horas.

www.iesacr.com. Consultado el día miércoles 23 de Octubre, a las 15:30 horas.

<http://www.nfpa.org/> Consultado el día miércoles 18 de Agosto, a las 08:30 horas.

ANEXOS

Ejemplo de calculo de conduit

1.- Se realiza el conteo de conductores que van a estar en la tubería.

2.- Se calcula la sumatoria de las áreas de los conductores.

3.-Se toma el factor de relleno a ocupar, 60% o 40%. Para el presente proyecto 40%.

4. Se divide la sumatoria de áreas sobre factor de relleno.

5.- De los catálogos de tuberías, se escoge la tubería adecuada.

Ejemplo:

- 3 Conductores del 10 AWG.

- Área del conductor de 10 AWG = 13.85 mm².

- Factor de relleno = 40%

- Área total de los conductores = 3*13.85 mm² = 41.55 mm²

Operación:

41.55 / 40% = 103.8 mm².

Comparando.

Una tubería de ½ pulgada posee un área aproximada de 196 mm², por tanto es adecuada para la aplicación requerida.

Existe también la opción de estimar el conduit requerido a través de tablas preestablecidas como la que se muestra a continuación.

Tabla 53. Número máximo de conductores por ducto de conduit.

Tabla 3 Número Máximo de Conductores por Ducto (Tabla C11 de NTC 2050)												
CALIBRE	1/2"		3/4"		1"		1,5"		2"		3"	
	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN
14 AWG	11	16	18	27	31	44						
12 AWG	8	11	14	19	24	32						
10 AWG	6	7	10	12	18	20	38	44				
8 AWG	3	4	6	7	10	12	21	25	33	40		
6 AWG	1	3	3	5	6	8	13	18	20	28	45	64
4 AWG	1	1	2	3	4	5	9	11	15	17	33	39
2 AWG	1	1	1	1	3	3	7	8	11	12	24	28
1 AWG	1	1	1	1	1	2	5	6	7	9	17	21
1/0 AWG	1	1	1	1	1	2	4	5	6	8	14	17
2/0 AWG	0	1	1	1	1	1	3	4	5	6	12	14
3/0 AWG			1	1	1	1	3	3	4	5	10	12
4/0 AWG			1	1	1	1	2	3	4	4	9	10
250 kcmil					1	1	1	2	3	3	7	8
300 kcmil					1	1	1	1	2	3	6	7
350 kcmil					1	1	1	1	2	2	5	6
400 kcmil					1	1	1	1	1	2	5	5
500 kcmil					0	0	1	1	1	1	4	4
750 kcmil					0	0	1	1	1	1	3	3
1000 kcmil					0	0	1	1	1	1	1	2

Fuente: Manual del código eléctrico colombiano (ntc 2050).

DATOS INICIALES	CLIENTE: _____ Contacto: _____ Teléfono: _____ Correo: _____
-----------------	---

Dimensiones del cuarto

Largo (m): Ancho (m): Alto (m):

Aislamiento

	Espesor (in)	Tipo
Techo	2,5	Poliuretano
Paredes	2,5	Poliuretano
Piso	6	Cemento

Ambiente

Temperatura (°C): Ubicación: Humedad relativa (%):

Tipo Producto

a) Peso (kg): <input type="text" value="110000"/>	Producto: <input type="text" value="Maple"/>	Temperatura de entrada (°C): <input type="text" value="18"/>
b) Peso (kg): <input type="text" value="82000"/>	Producto: <input type="text" value="Azucares"/>	Temperatura de entrada (°C): <input type="text" value="18"/>
c) Peso (kg): <input type="text"/>	Producto: <input type="text"/>	Temperatura de entrada (°C): <input type="text"/>

Condiciones de la cámara

Temperatura requerida (°C) N° Puertas: N° Personas:
 Vidrio:

Notas: Se toman aproximados de peso para cada ingrediente basandose en porcentajes estimados por el cliente. Se toma un peso total en el cuarto de 192 toneladas.

Ilustración 45. Datos iniciales para el cálculo de carga térmica.
 Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos obtenidos de la empresa cliente ANEXO N°1.

Cálculos basados en un periodo de funcionamiento de 24 h

VOLUMEN	<u>2021,0148</u>	metros cúbicos
	<u>71371,464</u>	pies cúbicos

ΔT Cuarto (=F):	<u>50,4</u>	Temperatura de piso (=F):	<u>25,4</u>
ΔT Producto (=F):	<u>19,8</u>	ΔT Producto (=F):	<u>19,8</u>
		ΔT Producto (=F):	<u>-12,6</u>

1. CARGAS POR TRANSMISIÓN

Elementos	Área	Factor de Carga	Carga Térmica
Paredes largas:	3836,686	72,56	278389,95
Paredes cortas:	1855,353	72,56	134624,39
Techo:	2862,370	72,56	207693,55
Piso:	2862,370	127	363520,96

Sub Total: **984228,85**

2. CARGAS POR CAMBIOS DE AIRE

Volumen	Factor de Carga	Factor de Carga	Carga Térmica
71371,464	1,658	2,434	288024,68

Sub Total: **288024,68**

3. CARGAS MICELÁNEAS

Elemento	Cantidad	Factor de Carga	Carga Térmica
Motores	4	70800	283200,00
Iluminación	2862,37	82	234714,32
Personas	4	18835	75340,00
Puerta Vidrio	0	19200	0,00
Montacargas	1	14000	14000,00

Sub Total: **607254,32**

4. CARGAS DEL PRODUCTO

Peso (lb)	Factor de Carga	ΔT Producto	Carga Térmica
242508,42	0,48	19,8	2304800,02
180779,004	0,24	19,8	859061,83
0	0,00	0	0,00

Sub Total: **3163861,85**

Ilustración 46. Cálculo de carga térmica.

Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos obtenidos de la empresa cliente.

5. CARGAS POR RESPIRACIÓN DEL PRODUCTO

Peso (lb)	Factor de Carga	Carga Térmica
242508,42	0,00	0,00
180779,004	0,00	0,00
0	0,00	0,00

Sub Total: **0,00**

CARGA TÉRMICA TOTAL

Sumatoria	Factor de seguridad	Run time (h)
5043369,71	10%	17

TOTAL	326335,6871	BTU/h
--------------	--------------------	--------------

*Tabulación de resultados

Tipo Carga	Valor
Transmisión	984228,85
Δ Aire	288024,68
Misceláneas	607254,32
Producto	3163861,85
Respiración	0,00

**Con un funcionamiento base de 24 h para todas las cargas.*

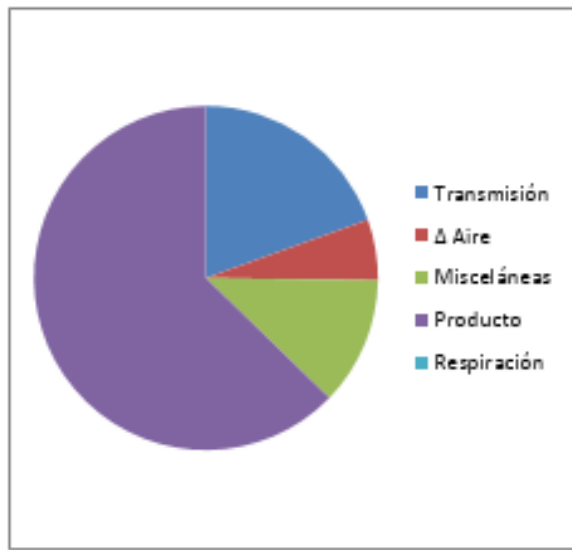


Ilustración 47. Cálculo de carga térmica y grafica de distribución.
 Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos obtenidos de la empresa cliente.

EQUIPOS ACTUALES		220 V / 3 PH / 60 HZ							
N°	DESCRIPCION	Tss (°F)	Ref *	Modelo	Q u/c (Btu/h)	Consumo Total (A)	Voltaje (V)	factor de Potenci *	POTENCIA (KW)
UNIDADES CONDENSADORAS									
1	UNIDAD CONDENSADORA N°1	32,6	(R404A/507)	BLV1501H6	168636	87,6	220	0,88	16,96
2	UNIDAD CONDENSADORA N°2	32,6	(R404A/507)	BLV1501H6	168636	87,6	220	0,88	16,96
EVAPORADORES									
3	UNIDAD EVAPORADORA N°1	32	(R404A/507)	GHN 071.2E/212-ANU50.M.	79654	5,8	220	0,88	1,12
4	UNIDAD EVAPORADORA N°2	32	(R404A/507)	GHN 071.2E/212-ANU50.M.	79654	5,8	220	0,88	1,12
5	UNIDAD EVAPORADORA N°3	32	(R404A/507)	GHN 071.2E/212-ANU50.M.	79654	5,8	220	0,88	1,12
6	UNIDAD EVAPORADORA N°4	32	(R404A/507)	GHN 071.2E/212-ANU50.M.	79654	5,8	220	0,88	1,12
Total						198,4			

UNIDADES CONDENSADORAS		
Consumo	33,92	Kw
Uso diario	18	hrs
N° días/ mes	30	días
N° meses	12	meses
Tarifa / Kw / h	0,15	US \$
TOTAL	US \$ 32969,00	anual

UNIDADES EVAPORADORAS		
Consumo	2,25	Kw
Uso diario	22	hrs
N° días/ mes	30	días
N° meses	12	meses
Tarifa / Kw / h	0,15	US \$
TOTAL	US \$ 2667,96	anual

UNIDADES EVAPORADORAS		
Consumo	2,25	Kw
Uso diario	22	hrs
N° días/ mes	30	días
N° meses	12	meses
Tarifa / Kw / h	0,15	US \$
TOTAL	US \$ 2667,96	anual



ESTIMACION DE COSTOS DE OPERACION ANUALES

\$38.304,92

Ilustración 48. Excel de cálculos de consumo eléctrico de equipos de refrigeración.
 Tabla elaborada en Microsoft Excel con datos obtenidos de los catálogos de equipos.

CALCULADOR NEWTON DEL CALIBRE DE CONDUCTORES BAJO VOLTAJE - 600 V.

Este programa calcula el calibre de cables de cobre, en conduit, ducto, cable o directamente enterrados.
Está basado en la Tabla 310-16 NEC y toma la Carga de los conductores, en amperios, como dato

Rev 8/23/9
XCEL V1.1

ENTRADAS

Carga en Amperios: 5,4
Temperatura Ambiente °C: 21-25
Número Conductores llevando Corriente, en conduit, ducto, cable o directamente enterrado: 4 - 6
Carga No Continua: 0
Temp.Amb.Base=30 °C

Tipo de cable (aislamiento): THHW CU - 90C
Temperatura de Terminales: 75 C

Protección Sobrecorriente es para carga continua
 Circuito es para múltiples salidas o tomacorrientes

Si el circuito es de 15, 20, 30, 40, ó 50 amperios teniendo dos o más salidas o tomacorrientes vea la Tabla 210-24 del NEC (protección).

SALIDAS

Tipo cable	Calibre Cable	Amper.	Factor carga Continua	Factor Temp. Ambiente	Factor Número Conduct.	Factor Total	Mínima Protección Sobrecorriente
THHW	No. 14	5,40	80%	1,04	80%	0,832	5,4

Ampacidad		Ampacidad		Mínima Protección	
Máxima Aislam.	Ampacidad Corregida	Máxima Terminal	Mínima Protección Sobrec.	Máxima Protección Sobrecorriente Disponible	
25	20,8	20	15	15	

NOTA: Si la Mínima Prot. Sobrec. es mayor que la Máxima Prot. Sobrec., incremente el Calibre.

Copyright 1996 Gerald C. Newton

Ilustración 49. Hoja de Excel empleada para la selección de calibres de cable eléctrico.

Fuente: www.iesacr.com.

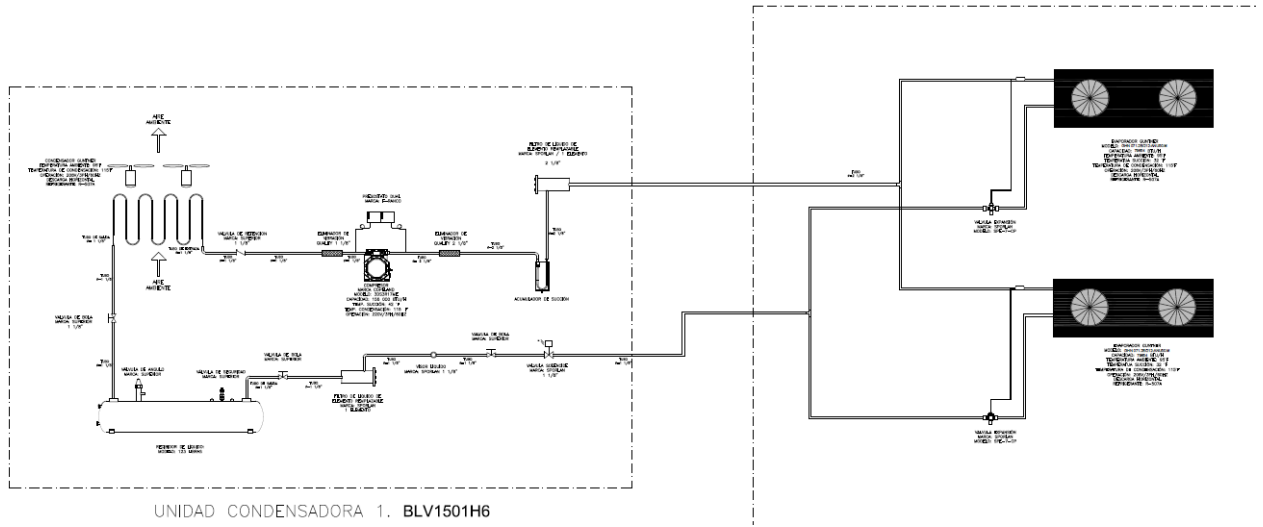


Ilustración 50. Esquema lineal de conexión de una sección del sistema de refrigeración planteado.
Fuente: Realizado en el software de ingeniería Auto Cad 2014.

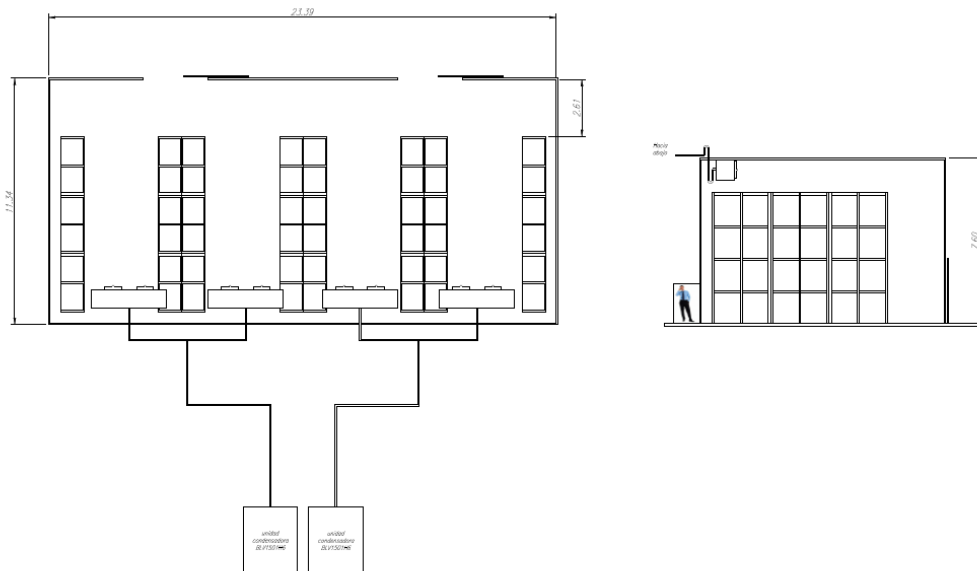


Ilustración 51. Vista de planta del cuarto de mantenimiento fresco.
Fuente: Realizado en el software de ingeniería Auto Cad 2014.