

Facultad de Tecnología de la Industria

“Elaboración de metodología de cálculo de cámaras frigoríficas para Industria Alimenticia”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Elaborado por

Tutor:

Br. Sofía Carolina
Largaespada Martínez
Carnet: 2013-61358

Br. Belmory Alexander
Vargas Rivas
Carnet: 2013-61739

Br. Yulmar Yigal
Valdivia Jiménez
Carnet: 2013-62332

MSc. Mario de Jesús
García

AGRADECIMIENTOS

En nuestro proyecto monográfico queremos agradecer primeramente a Dios, por habernos guiado hasta acá, a nuestros padres que con mucho sacrificios, esfuerzo y dedicación nos alentaron a siempre esforzarnos para salir adelante y cumplir esta meta, a nuestros profesores que nos llenaron de conocimientos y sabiduría en todas nuestras materias, que siempre nos brindaron su apoyo para poder salir adelante y cumplir nuestros sueños de hoy convertirnos en Ingenieros Mecánicos.

Agradecemos a todos los que formaron parte de este gran esfuerzo y dedicación para cumplir esta meta a toda nuestra familia y amigos que confiaron en nosotros no nos queda más que agradecerle por este gran sueño cumplido.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Antecedentes Nacionales	3
2.2 Antecedentes Internacionales.....	4
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV. OBJETIVOS	8
4.1 Objetivo general.....	8
4.2 Objetivos específicos	8
V. MARCO TEORICO	9
5.1 Elementos conceptuales.....	9
5.1.1 Cámaras frigoríficas	9
5.1.2 Conservación de alimentos	10
5.1.3 Calculo y dimensionamiento de instalaciones frigoríficas.....	10
5.1.4 Eficiencia energética en cámaras frigoríficas	11
5.1.5 Sostenibilidad en la industria alimentaria	12
5.1.6 Paso a paso para el diseño de una cámara frigorífica.....	13
VI. DISEÑO METODOLOGICO	20
6.1 Diseño de la investigación	20
6.1.1 Tipo de investigación.....	20
6.1.2 Enfoque de la investigación.....	21
6.1.3 Técnicas de recolección de datos	21
6.2 Técnicas y herramientas de análisis de datos	22
6.3 Fases de la investigación.....	23
6.4 Limitaciones y consideraciones éticas	26

VII. RESULTADOS	28
7.1 Tipos de cámaras frigoríficas	29
7.1.1 Componentes principales	30
7.1.2 Procedimiento de diseño	32
7.2 Diseño y dimensionamiento	34
7.2.1 Criterios de cálculo	34
7.2.2 Normativa	69
7.3 Ejemplo de diseño	70
7.4 Inversiones y costos	79
7.5 Herramientas digitales	89
7.5.1 Herramienta recomendada	89
VIII.DISCUSIÓN.....	92
IX. RECOMENDACIONES.....	94
X. CONCLUSIONES.....	97
XI. REFERENCIAS	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. cámara frigorífica	29
Figura 2. Esquema general de la metodología.....	32
Figura 3. Clasificación “A” de luces, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007). 39	
Figura 4. Clasificación “B” de luces, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007). 39	
Figura 5. Parámetros de ganancia de calor de iluminación para condiciones típicas de funcionamiento, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, Lighting Heat Gain Parameters: Experimental Results (RP-1282), 2007).	40
Figura 6. Factor de balastro, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).	41
Figura 7. Coeficientes por equipo, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007). .	42
Figura 8. Ganancia de calor para motores eléctricos típicos, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).....	43
Figura 9. Limitadores típicos de sobrecarga F para motores estándar, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).	44
Figura 10. Factores de carga recomendados (Sarfraz & Bach, 2018).	44
Figura 11. Tasas representativas a las que los seres humanos emiten calor y humedad en diferentes estados de actividad, tomado de (ASHRAE a, 2005).	46
Figura 12. Generación típica de calor metabólico para diversas actividades, tomado de (ASHRAE a, 2005).	46
Figura 13. Ecuaciones para coeficientes de transferencia de calor por convección, tomado de (ASHRAE a, 2005).	47
Figura 14. Propiedades térmicas típicas de Materiales Aislantes y de Construcción Comunes, tomado de (ASHRAE b, 2013).	53
Figura 15. Coeficientes / Resistencias de la película superficial, tomado de (ASHRAE b, 2013)	54
Figura 16. Factores U de Diseño de puertas batientes en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).	55
Figura 17. Factores U de Diseño de puertas giratorias en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).	55

Figura 18. Factores U de Diseño para puertas de salida de emergencia de acero de doble pared en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).....	56
Figura 19. Factores U de Diseño para puertas de garaje y hangar de aeronaves de acero dobles en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).	56
Figura 20. Monoblock de pared.....	59
Figura 21. Monoblock de techo.	59
Figura 22. Monoblock de puerta.....	59
Figura 23. Equipos de refrigeración estándar.....	60
Figura 24. Equipos de refrigeración semi-estático y de alta humedad.	61
Figura 25. Equipos de refrigeración para bodegas de vinos y cavas.	61
Figura 27. Conductividad térmica de aislantes para cuartos fríos	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fases de la investigación	23
Tabla 2. Componentes principales	30
Tabla 3. Tipos de refrigerantes.....	36
Tabla 4. Tipos de puertas.....	65
Tabla 5. Comparación de Factores Clave en los principales tipos de Cámaras Frigoríficas.....	81

RESUMEN EJECUTIVO

Esta tesis se enfoca en desarrollar una metodología precisa y eficiente para el cálculo de cámaras frigoríficas utilizadas en la industria alimenticia. El objetivo principal es proporcionar a los profesionales del sector una herramienta confiable y efectiva para el diseño y análisis óptimos de sistemas de refrigeración. Se examinan los conceptos fundamentales de las cámaras frigoríficas, los componentes y sistemas de refrigeración, y se exploran los factores relevantes en la estimación de los costos de instalación. Se presenta CoolProRoom como una herramienta digital recomendada para el diseño y análisis. En resumen, esta tesis ofrece una metodología integral que garantiza la calidad y seguridad de los productos almacenados.

Palabras clave: *cámaras frigoríficas, refrigeración, industria alimenticia, metodología de cálculo, costos de instalación, herramientas digitales, CoolProRoom.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria alimentaria desempeña un papel crucial en el desarrollo de la sociedad, especialmente debido al crecimiento acelerado de la población mundial y su preferencia por las zonas urbanas (de León & Cuevas, 2004). Sin embargo, este fenómeno presenta un desafío significativo. La refrigeración de productos alimenticios tiene como objetivo principal mantener la calidad y prolongar la durabilidad de los alimentos antes de su venta. Al mantener una temperatura adecuada, se minimiza el deterioro metabólico y microbiológico de los productos, asegurando su calidad durante el almacenamiento y distribución (por Camiones, 1995).

Las estadísticas muestran la magnitud del problema, ya que se estima que entre el 30% y el 50% de los productos perecederos, como frutas y vegetales, se pierden durante el almacenamiento, transporte y venta debido a la falta de condiciones adecuadas (Aguiló, 1998; FAO, 2022). La pérdida y desperdicio de alimentos se ha convertido en una preocupación global, tanto que la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establece como objetivo reducir a la mitad el desperdicio per cápita de alimentos a nivel minorista y de consumo para el año 2030, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015).

La refrigeración se ha consolidado como una de las estrategias más eficaces y económicas para la preservación de alimentos. Aprovechando las diferencias de temperatura, se extrae el calor de los productos mediante el ciclo de Carnot u otros ciclos termodinámicos, enfriándolos y prolongando su tiempo de conservación (Alomá & Malaver, 2007). En la industria alimentaria de diversos países, incluyendo Nicaragua, las cámaras frigoríficas son fundamentales para mantener la calidad de los alimentos, especialmente en sectores como la pesca (Flores Barrientos & Saldivar Huanacuni, 2020), donde el tiempo de conservación es crucial para evitar su descomposición.

En este contexto, esta tesis tiene como objetivo principal la elaboración de una metodología de cálculo de cámaras frigoríficas para la industria alimentaria, con enfoque en Nicaragua. La metodología propuesta permitirá diseñar sistemas de refrigeración que cumplan con las especificaciones y requisitos de conservación de diferentes tipos de productos orgánicos. Al implementar esta metodología, se busca garantizar la inocuidad de los alimentos, cumpliendo con los estándares de calidad y certificación de seguridad alimentaria.

II. ANTECEDENTES

En el campo de la industria alimentaria, la conservación adecuada de los productos orgánicos desempeña un papel fundamental para garantizar su calidad, seguridad y durabilidad. En este sentido, las cámaras frigoríficas se han convertido en elementos esenciales para el almacenamiento y preservación de estos productos perecederos. A lo largo de los años, se ha evidenciado la necesidad de contar con metodologías de cálculo eficientes y precisas que permitan el diseño y dimensionamiento óptimo de estas cámaras frigoríficas, considerando las particularidades de los diferentes tipos de productos y las exigencias del sector. En este apartado, se presentan los antecedentes relevantes con relación a las investigaciones previas sobre metodologías de cálculo para cámaras frigoríficas en la industria alimentaria, con el propósito de identificar las limitaciones existentes y establecer un punto de partida sólido para el desarrollo de la presente investigación.

2.1 Antecedentes Nacionales

A nivel nacional se destacan dos investigaciones importantes la primera se titula "Diseño y construcción de una cámara frigorífica para la conservación de productos alimenticios perecederos en Nicaragua" (Lopez M. , 2019). En esta investigación, se llevó a cabo un estudio detallado de los requerimientos de temperatura y humedad para diferentes tipos de productos alimenticios perecederos en Nicaragua. Se diseñó y construyó una cámara frigorífica siguiendo las normativas y estándares internacionales, teniendo en cuenta las características específicas del clima y los productos locales. Los resultados mostraron que la implementación de una cámara frigorífica adecuada en las industrias alimentarias de Nicaragua permitió mejorar la conservación de los productos y prolongar su vida útil. Se destacó la importancia de contar con una metodología de cálculo precisa y adaptada a las condiciones del país. Este antecedente se relaciona con la tesis en cuanto a la importancia de diseñar una metodología de cálculo específica para la industria alimentaria en Nicaragua, considerando las condiciones climáticas y los productos locales.

La segunda investigación que se relaciona se titula "Eficiencia energética en cámaras frigoríficas de la industria alimentaria en Nicaragua" (Garcia, 2020) . En esta investigación se evaluaron las cámaras frigoríficas utilizadas en la industria alimentaria en Nicaragua desde el punto de vista de la eficiencia energética. Se realizaron mediciones de consumo eléctrico, se analizaron los sistemas de refrigeración utilizados y se propusieron medidas de mejora para reducir el consumo energético. Los resultados indicaron que muchas cámaras frigoríficas en la industria alimentaria de Nicaragua presentaban un alto consumo energético debido a deficiencias en su diseño y operación. Se concluyó que la implementación de mejoras en los sistemas de refrigeración y el uso de tecnologías más eficientes podrían generar ahorros significativos de energía. Este antecedente se relaciona con la tesis en cuanto a la importancia de considerar la eficiencia energética en el diseño de cámaras frigoríficas para la industria alimentaria en Nicaragua. La metodología de cálculo propuesta en la tesis deberá tener en cuenta estos aspectos para promover el ahorro de energía y la sostenibilidad en las instalaciones frigoríficas del país.

2.2 Antecedentes Internacionales

A nivel internacional se destacan dos investigaciones importantes la primera se titula, "Optimización del Sistema de Refrigeración para Cámaras Frigoríficas" Smith et al (2020). En este estudio, se realizó una optimización de sistemas de refrigeración para almacenes de almacenamiento en frío. Se llevó a cabo un enfoque de modelado y simulación para analizar diferentes configuraciones y parámetros del sistema de refrigeración, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. Se llevaron a cabo simulaciones computacionales y se aplicaron algoritmos de optimización para encontrar la configuración más eficiente y rentable. Los resultados mostraron que la optimización del sistema de refrigeración redujo los costos operativos y energéticos, al tiempo que se mejoraba la eficiencia y se minimizaba el impacto ambiental. Las conclusiones resaltaron la importancia de considerar la optimización del sistema de refrigeración como una estrategia clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los almacenamientos

de almacenamiento en frío. Esta investigación internacional proporciona un enfoque interesante para optimizar los sistemas de refrigeración en cámaras frigoríficas, lo cual es relevante para la tesis. Su metodología y resultados pueden ser tomados en cuenta como referencias para desarrollar nuestra propia metodología de cálculo, considerando también los aspectos económicos y ambientales.

La segunda investigación se titula "Estudio Comparativo de Sistemas de Refrigeración para Instalaciones Frigoríficas en la Industria Alimentaria" Lopez, et al. (2017), en este estudio comparativo, se analizaron y compararon diferentes sistemas de refrigeración utilizados en instalaciones de almacenamiento en frío en la industria alimentaria. Se evaluaron aspectos como la eficiencia energética, el rendimiento del sistema y los costos operativos. Además, se realizaron in situ y se recopilaban datos de consumo energético y temperatura en las instalaciones estudiadas. Los resultados mostraron que los sistemas de refrigeración con tecnologías más avanzadas, como la compresión de vapor y los sistemas de amoníaco, demostraron un mejor rendimiento energético y una mayor eficiencia en comparación con los sistemas convencionales. Las conclusiones resaltaron la importancia de considerar la selección adecuada del sistema de refrigeración en función de las necesidades y características de cada instalación. Esta investigación internacional ofrece una visión comparativa de los sistemas de refrigeración utilizados en instalaciones de almacenamiento en frío en la industria alimentaria, lo cual es relevante para la tesis. Sus resultados pueden proporcionar información importante sobre las tecnologías más eficientes y efectivas a considerar en el diseño y cálculo de cámaras frigoríficas.

III. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de una metodología de cálculo de cámaras frigoríficas para la industria alimentaria se justifica no solo por la necesidad de garantizar la conservación óptima de los productos orgánicos, sino también por los beneficios económicos y ambientales que puede aportar al sector. Un diseño inadecuado de las cámaras frigoríficas puede ocasionar pérdidas económicas significativas debido a la disminución de la calidad y vida útil de los alimentos. Según Castillo y Sigueñas (2020), la implementación de una metodología de cálculo precisa puede ayudar a minimizar estas pérdidas, optimizando el uso de los recursos disponibles y asegurando la calidad de los productos durante su almacenamiento.

La falta de una metodología de cálculo estandarizada en el diseño de cámaras frigoríficas también afecta la competitividad de la industria alimentaria. Cortés et al. (2022) señalan que las metodologías existentes presentan deficiencias y no abordan de manera integral los aspectos relevantes para el diseño y dimensionamiento de las cámaras frigoríficas. Esto dificulta la toma de decisiones acertadas y limita la eficiencia operativa de las empresas. Por lo tanto, desarrollar una metodología de cálculo adaptada a las particularidades de la industria alimentaria es esencial para mejorar la competitividad y eficiencia del sector.

Además, la implementación de una metodología de cálculo en el diseño de cámaras frigoríficas puede contribuir a la sostenibilidad ambiental. Centeno (2019) destacan que la optimización de los sistemas de refrigeración en las instalaciones de almacenamiento en frío puede reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto es especialmente relevante en un contexto global donde la reducción de la huella ambiental es una prioridad. Al desarrollar una metodología de cálculo que considere aspectos ambientales y energéticos, se puede fomentar la adopción de prácticas sostenibles en la industria alimentaria, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

Por lo tanto, es importante desarrollar una metodología de cálculo que tenga en cuenta los aspectos ambientales y energéticos, en línea con las tendencias actuales de la industria alimentaria hacia la sostenibilidad. Basado en lo anterior el objetivo de esta investigación es diseñar una metodología de cálculo que cumpla con las especificaciones y conservación de los diferentes tipos de productos orgánicos en la industria alimentaria.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Diseñar metodología de cálculo para cámara de frío que cumpla con las especificaciones y conservación de los diferentes tipos de productos orgánicos en la industria alimenticia.

4.2 Objetivos específicos

-) Definir los componentes de una cámara frigorífica sujetos a la metodología de cálculo con el propósito de una mejor selección de datos en el diseño.
-) Establecer los criterios de cálculo que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar, dimensionar las instalaciones y elementos del sistema de refrigeración.
-) Determinar un procedimiento de estimación de cálculos de inversión para las industrias en el país como la instalación de cámaras frigoríficas, costo de equipos, costo de instalación y mantenimiento.
-) Designar una herramienta digital que facilite la memoria de cálculo para la preservación de los diferentes productos perecederos en una cámara frigorífica que conlleven a un ahorro energético y tiempo de trabajo.

V. MARCO TEORICO

En la industria alimentaria, es fundamental contar con cámaras frigoríficas que cumplan con las especificaciones requeridas para conservar los productos orgánicos. Sin embargo, el diseño preciso de estas cámaras representa un desafío debido a la variedad de componentes y criterios de cálculo involucrados. En esta investigación, se busca desarrollar una metodología de cálculo de cámaras frigoríficas que garantice la conservación óptima de los alimentos. Para lograrlo, se abordarán conceptos clave relacionados con las cámaras frigoríficas.

5.1 Elementos conceptuales

5.1.1 Cámaras frigoríficas

Las cámaras frigoríficas son instalaciones especialmente diseñadas para almacenar y conservar productos alimentarios a bajas temperaturas, proporcionando un ambiente controlado que ayuda a mantener la calidad y prolongar la vida útil de los productos perecederos. Estas cámaras están equipadas con sistemas de refrigeración y aislamiento térmico para mantener temperaturas adecuadas y prevenir la proliferación de microorganismos y la degradación de los alimentos.

Según Tapia (2021), las cámaras frigoríficas son estructuras aisladas térmicamente que permiten el control preciso de la temperatura, la humedad y otros parámetros ambientales para garantizar la conservación de los productos alimentarios. Estas instalaciones son esenciales en la cadena de suministro de alimentos, ya que permiten almacenar y distribuir productos perecederos como carne, pescado, frutas y verduras en condiciones óptimas.

Además, según Marchant (2019), las cámaras frigoríficas se clasifican en función de su temperatura de operación y su capacidad de control de humedad. Existen diferentes tipos de cámaras, como cámaras de refrigeración, cámaras de congelación y cámaras de atmósfera controlada, cada una diseñada para mantener

condiciones específicas de temperatura y humedad según los requisitos de los productos almacenados.

5.1.2 Conservación de alimentos

La conservación de productos alimenticios se refiere a las prácticas y técnicas utilizadas para mantener la calidad, frescura y seguridad de los alimentos durante su almacenamiento y distribución. El objetivo principal de la conservación es prolongar la vida útil de los alimentos y prevenir o reducir la degradación y el deterioro causados por factores como el crecimiento microbiano, la oxidación, la descomposición enzimática y la pérdida de nutrientes.

Según la investigación de Rivero (2018), la conservación de productos alimenticios es esencial para asegurar la disponibilidad de alimentos seguros y nutritivos. Se destaca la importancia de controlar factores como la temperatura, la humedad y la atmósfera para evitar la proliferación de microorganismos y mantener la calidad sensorial de los alimentos.

Además, el estudio realizado por Vivanco et al. (2021) enfatiza la importancia de técnicas de conservación como la refrigeración y la congelación para prevenir el deterioro de los alimentos y mantener su valor nutricional. Se menciona que el control de la temperatura es fundamental para inhibir el crecimiento de microorganismos y enzimas que pueden afectar la calidad y seguridad de los alimentos.

5.1.3 Calculo y dimensionamiento de instalaciones frigoríficas

Se refiere al proceso de determinar las especificaciones y dimensiones necesarias para diseñar y construir sistemas de refrigeración eficientes y adecuados. Esto implica considerar diversos aspectos técnicos, como la carga térmica, la selección de equipos, el diseño de conductos y tuberías, entre otros, con el fin de garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

Según el estudio de Balbas (2021), el cálculo de instalaciones frigoríficas involucra la determinación precisa de la carga térmica, que es la cantidad de calor que debe ser extraída del espacio refrigerado para mantener las condiciones de temperatura deseadas. Además, se deben tener en cuenta factores como la selección adecuada de los equipos de refrigeración, el diseño de la distribución de aire frío y la adecuada aislación térmica de la instalación.

En línea con lo anterior, la investigación de Serrano (2022) destaca la importancia del dimensionamiento adecuado de las tuberías y conductos utilizados en las instalaciones frigoríficas. Esto implica calcular el diámetro y la longitud de los conductos, así como determinar las cargas térmicas del espacio y la distribución del aire frío de manera eficiente, con el fin de garantizar un funcionamiento óptimo y una distribución uniforme del frío en la cámara frigorífica.

5.1.4 Eficiencia energética en cámaras frigoríficas

La eficiencia energética en cámaras frigoríficas se refiere a la capacidad de los sistemas de refrigeración para minimizar el consumo de energía mientras mantienen las condiciones de temperatura adecuadas para la conservación de los productos almacenados. Una cámara frigorífica eficiente energéticamente utiliza de manera óptima los recursos energéticos, reduciendo así los costos operativos y el impacto ambiental.

Según la investigación realizada por Reina (2022), la eficiencia energética en cámaras frigoríficas se logra a través de diferentes estrategias. Estas incluyen el uso de equipos de refrigeración de alta eficiencia, el aislamiento térmico adecuado de las instalaciones, la gestión eficiente de la carga térmica y la optimización de los sistemas de control y regulación.

Además, el estudio de Poveda & Bohorquez (2020) destaca la importancia de la monitorización y el mantenimiento periódico de los sistemas de refrigeración en cámaras frigoríficas para asegurar su eficiencia energética a largo plazo. La detección temprana de posibles problemas, como fugas de refrigerante o mal

funcionamiento de los componentes, puede contribuir a evitar pérdidas de energía y a maximizar la eficiencia del sistema.

5.1.5 Sostenibilidad en la industria alimentaria

La sostenibilidad en la industria alimentaria se refiere a la capacidad de producir, procesar y distribuir alimentos de manera responsable, teniendo en cuenta los aspectos económicos, sociales y ambientales. Busca garantizar la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), la sostenibilidad en la industria alimentaria implica adoptar prácticas que promuevan la seguridad alimentaria, minimicen el desperdicio de alimentos, reduzcan el impacto ambiental y fomenten la equidad social. Esto implica implementar procesos de producción más eficientes, optimizar el uso de recursos naturales, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles.

La investigación llevada a cabo por Ramirez et al (2020) destaca la importancia de la sostenibilidad en la cadena de suministro de alimentos, desde la producción hasta la distribución y el consumo. Esto implica considerar aspectos como la conservación de los recursos naturales, la protección del medio ambiente, el bienestar animal, la equidad social y la participación de los diferentes actores involucrados en la cadena alimentaria.

Además, la adopción de prácticas sostenibles en la industria alimentaria puede ofrecer beneficios económicos a largo plazo. Según un estudio realizado por Galdo & Garcia (2021), las empresas que implementan estrategias sostenibles pueden mejorar su competitividad, reducir costos operativos y aumentar la satisfacción del consumidor.

5.1.6 Paso a paso para el diseño de una cámara frigorífica

Definición de requisitos: Comienza por determinar los requisitos específicos de la cámara frigorífica, como la temperatura de almacenamiento, la capacidad requerida y los tipos de productos a almacenar (Sancho, 2021).

Selección de componentes: Identifica y selecciona los componentes necesarios para el sistema de refrigeración de la cámara, como compresores, evaporadores, condensadores y dispositivos de control (Serrano, 2022).

Realiza el cálculo de la carga térmica de la cámara frigorífica: Esta incluye la carga de enfriamiento (por transferencia de calor de los productos almacenados), la carga de infiltración (por entrada de aire exterior) y la carga de iluminación, entre otros (Velazquez, 2022). Su fórmula es:

$$C_{Tér} = C_{R} + C_{I} + C_{T} + C_{I} + C_{E} + C_{P} + C_{CP} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$$C_{R} = C_{p} \cdot \Delta T \cdot R \quad \text{Carga de refrigeración}$$

$$C_{I} = C_{i} \cdot I \quad \text{Carga de infiltración}$$

$$C_{T} = C_{t} \cdot T \quad \text{Carga de temperatura}$$

$$C_{I} = C_{l} \cdot I \quad \text{Carga de iluminación}$$

$$C_{E} = C_{e} \cdot E \quad \text{Carga de evaporación}$$

$$C_{P} = C_{p} \cdot P \quad \text{Carga de potencia}$$

$$C_{CP} = C_{cp} \cdot P \quad \text{Carga de potencia por potencia}$$

A continuación, se explica brevemente cada componente de la carga térmica:

Carga de Refrigeración: Es la cantidad de calor que debe ser extraída para mantener la temperatura deseada dentro de la cámara frigorífica. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$C_{dR} = M \cdot \frac{Ecuación\ 2}{dP} \times C_L \cdot dF_{ón}$$

Carga de Infiltración: Se refiere a la cantidad de calor que ingresa a la cámara frigorífica debido a fugas de aire. Se calcula multiplicando el volumen de aire infiltrado por la diferencia de entalpía entre el aire exterior y el aire interior.

Carga de Transmisión: Es el calor que se transmite a través de las paredes, techos, pisos y puertas de la cámara. Se calcula utilizando la ley de conducción térmica y teniendo en cuenta los coeficientes de transferencia de calor y las diferencias de temperatura.

Carga de Iluminación: Es el calor generado por las luces utilizadas dentro de la cámara. Se calcula multiplicando la potencia de las luces por el factor de calor emitido.

Carga de Equipos: Se refiere al calor generado por los equipos de refrigeración y otros dispositivos eléctricos dentro de la cámara. Se calcula multiplicando la potencia de los equipos por el factor de calor emitido.

Carga de Personas: Es el calor generado por la presencia de personas dentro de la cámara frigorífica. Se calcula multiplicando la cantidad de personas por el factor de calor emitido por persona.

Carga de Productos: Se refiere al calor generado por los productos almacenados dentro de la cámara. Se calcula multiplicando la masa de los productos por su calor específico y la diferencia de temperatura.

Dimensionamiento del equipo: Utiliza fórmulas específicas para dimensionar los componentes del sistema de refrigeración, como el compresor y el evaporador. Estas fórmulas varían según el tipo de equipo y el refrigerante utilizado. Puedes

consultar manuales técnicos de fabricantes de equipos o utilizar software de diseño como "Refrigeration Design Software" o "Coolselector" (Tapia, 2021).

Diseño del sistema de distribución de aire: Para diseñar la distribución del aire dentro de la cámara frigorífica, es necesario considerar aspectos como la velocidad del aire, la distribución de temperaturas y la circulación del aire. Puedes utilizar software de simulación de flujo de aire como "ANSYS Fluent" o "COMSOL Multiphysics" para ayudarte en este proceso. Pero si requieres realizar los cálculos estas son algunas fórmulas que pueden aplicarse manualmente para estimar la velocidad del aire y otros parámetros relevantes (Caillagua & Shulca, 2022). A continuación, te menciono algunas de ellas:

- **Velocidad del aire:** Para determinar la velocidad del aire dentro de la cámara, puedes utilizar la fórmula de velocidad promedio

Ecuación 3

$$V_{da} \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{V_{cám} \left(\frac{m^3}{s} \right)}{A_{r\text{cám}} \left(m^2 \right)}$$

- **Tiempo de retención de aire:** Esta fórmula te permite estimar el tiempo que tarda el aire en recircular completamente dentro de la cámara y esta es

Ecuación 4

$$T_{r\text{a}} \text{ [s]} = \frac{V_{cám} \left[m^3 \right]}{V_{a\text{sl}} \left[m^3/s \right]}$$

- **Gradiente de temperatura:** Para determinar el gradiente de temperatura en la cámara, puedes utilizar la siguiente fórmula

Ecuación 5

$$\Delta_T \left[^\circ C/m \right] = \frac{T_{a\text{sl}} - T_{a\text{r}}}{D}$$

Cálculo de tuberías y conductos: Utiliza fórmulas específicas para calcular el diámetro y la longitud de las tuberías y conductos utilizados en el sistema de refrigeración. Estas fórmulas dependen del tipo de fluido refrigerante y las características del sistema. Puedes encontrar estas fórmulas en manuales técnicos

de refrigeración o utilizar software de cálculo de tuberías como "Pipe Flow Expert" o "PIPE-FLO" (Serrano, 2022). A continuación, mencionaré algunas fórmulas generales que pueden utilizarse como punto de partida:

- **Diámetro de la tubería:** La selección del diámetro de la tubería depende del caudal de refrigerante y la pérdida de carga permitida. Una fórmula comúnmente utilizada para calcular el diámetro es la fórmula de Darcy-Weisbach, esta es:

Ecuación 6

$$\theta_{t \quad ía} = \frac{4 * \dot{m}}{\rho * v * A}$$

Donde

$$\theta_{t \quad ía} = D \quad d \quad t \quad ía \quad (m)$$

$$\dot{m} = F \quad \text{más} \quad d \quad r \quad (k \quad /s)$$

$$\rho = D \quad d \quad r \quad (k \quad /m^3)$$

$$v = V \quad m \quad del \quad r \quad (m/s)$$

$$A = \text{Área} \quad d \quad l \quad i \quad s \quad ón \quad t \quad d \quad l \quad i \quad t \quad ía \quad (m^2)$$

- **Longitud de la tubería:** La longitud de la tubería se determina según la ubicación y configuración del sistema de refrigeración. Para calcular la longitud total, se suman las longitudes rectas de las tuberías y se consideran las pérdidas de carga debidas a las curvas, codos y accesorios. No hay una fórmula única para calcular la longitud de la tubería, ya que depende del diseño específico y las condiciones del sistema.

Evaluación energética: Una parte importante del diseño de una cámara frigorífica es evaluar su eficiencia energética (Lara et al. 2022). Para ello, se pueden llevar a cabo los siguientes pasos:

- **Cálculo de la demanda energética:** Determina la cantidad de energía requerida para mantener la temperatura deseada dentro de la cámara frigorífica. Esto implica considerar la carga térmica, la eficiencia del equipo de refrigeración y los ciclos de funcionamiento. Se pueden utilizar fórmulas específicas o software de simulación energética como "EnergyPlus" o "Trace 700".
- **Selección de equipos eficientes:** Escoge equipos de refrigeración con altos niveles de eficiencia energética, como compresores y unidades de condensación que cumplan con estándares de eficiencia reconocidos, como los establecidos por ENERGY STAR.
- **Diseño de sistemas de control:** Implementa sistemas de control avanzados que optimicen el funcionamiento del sistema de refrigeración y minimicen el consumo de energía. Esto puede incluir la regulación de la temperatura, la gestión de la demanda, la programación de horarios y la monitorización de parámetros clave.
- **Análisis de la viabilidad de energías renovables:** Evalúa la posibilidad de utilizar fuentes de energía renovable, como paneles solares o sistemas de cogeneración, para reducir el consumo de energía convencional.
- **Medición y monitoreo:** Establece sistemas de medición y monitoreo de consumo energético para evaluar continuamente el desempeño energético de la cámara frigorífica y detectar oportunidades de mejora.

Para realizar una evaluación energética manual en el diseño de una cámara frigorífica, se pueden utilizar algunas fórmulas y cálculos relacionados. A continuación, mencionaré algunos aspectos clave a considerar:

Cálculo del consumo de energía del equipo de refrigeración: Para estimar el consumo de energía del equipo de refrigeración, se pueden utilizar fórmulas como la fórmula del coeficiente de rendimiento (COP) o la fórmula del consumo de energía

eléctrica. Estas fórmulas involucran variables como la capacidad de refrigeración, la potencia eléctrica del equipo y el rendimiento energético. La fórmula para calcular el consumo de energía eléctrica de un equipo de refrigeración se basa en la relación entre la potencia eléctrica del equipo y el tiempo de funcionamiento. La fórmula general es la siguiente:

$$C_{de} \text{ íueéc} = P_{eéc} \text{ d e} * T \text{ d fu}$$

Ecuación 7

Donde:

- Potencia eléctrica del equipo se mide en vatios (W) o kilovatios (kW) y representa la cantidad de energía eléctrica que consume el equipo en un período de tiempo determinado.
- Tiempo de funcionamiento se mide en horas (h) y representa la duración durante la cual el equipo de refrigeración está en funcionamiento.

Es importante asegurarse de utilizar las unidades correctas y consistentes en la fórmula. Si la potencia eléctrica se encuentra en kilovatios, el resultado del consumo de energía eléctrica también estará en kilovatios-hora (kWh). Si la potencia eléctrica se encuentra en vatios, el resultado del consumo de energía eléctrica estará en vatios-hora (Wh)

Cálculo de eficiencia energética: La eficiencia energética se puede calcular utilizando la relación entre la energía útil (refrigeración proporcionada) y la energía consumida (electricidad o combustible). La fórmula básica para calcular la eficiencia energética es:

$$E_{e} \text{ éti} (\%) = (E_{ía \text{ úti}} / E_{íac}) * 100$$

Ecuación 8

Análisis económico: Para evaluar la viabilidad económica de medidas de eficiencia energética o la implementación de energías renovables, se pueden utilizar fórmulas como el período de retorno de la inversión (PRI), el valor presente neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR). La fórmula del Valor Presente Neto se expresa de la siguiente manera:

$$V = \sum \left[\frac{F_d e_i}{(1+i)^p} \right] - I_0 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

\sum : representa la suma de los flujos de efectivo para cada período.

Flujo de efectivo: representa los ingresos o ahorros generados en cada período después de considerar los costos asociados.

Tasa de descuento: es la tasa de interés o tasa de retorno mínima requerida para que la inversión sea rentable.

Período: representa el número de períodos en los que se realizará el análisis.

Inversión inicial: es el costo inicial de la inversión.

En el análisis económico, se comparará el VPN con cero. Si el VPN es mayor que cero, significa que la inversión es rentable y genera retornos positivos. Si el VPN es menor que cero, indica que la inversión no es rentable.

VI. DISEÑO METODOLOGICO

En este capítulo se presenta una metodología diseñada para calcular las cámaras frigoríficas utilizadas en la industria alimentaria. La metodología tiene como objetivo principal proporcionar una guía clara y precisa para el diseño adecuado de estas cámaras, asegurando que los diferentes tipos de alimentos se conserven de manera óptima. Se ha recopilado información de fuentes especializadas y se ha contado con la experiencia de expertos en el campo para desarrollar criterios y procedimientos que aborden todos los aspectos relevantes en el diseño de estas cámaras.

6.1 Diseño de la investigación

6.1.1 Tipo de investigación

La presente tesis se enmarca en una investigación de tipo aplicada. Según Nieto (2018), la investigación aplicada se caracteriza por abordar problemas concretos y prácticos, con el objetivo de generar conocimiento que pueda ser directamente aplicado en la realidad. En este contexto, el objetivo de esta investigación es desarrollar una metodología de cálculo de cámaras frigoríficas para la industria alimentaria, que cumpla con las especificaciones y requerimientos necesarios para la conservación de los productos orgánicos.

En esta investigación se hace referencia a la obra de Nieto (2018), quien destaca la importancia de la investigación aplicada en la solución de problemas específicos en diferentes ámbitos. El autor enfatiza que este tipo de investigación contribuye al desarrollo de soluciones prácticas y concretas, que tienen un impacto directo en la mejora de los procesos y resultados en los sectores correspondientes.

6.1.2 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación será mixto, combinando elementos tanto cuantitativos como cualitativos. Esto se debe a que se buscará tanto recolectar y analizar datos numéricos y medibles, como también obtener información cualitativa (Ortega, 2018).

En cuanto al enfoque cuantitativo, se realizarán cálculos y mediciones de variables específicas relacionadas con el diseño y funcionamiento de las cámaras frigoríficas. Se recopilarán datos numéricos sobre temperaturas, capacidades de enfriamiento, consumos de energía, entre otros, con el objetivo de evaluar el rendimiento de las cámaras y realizar comparaciones.

Por otro lado, en el enfoque cualitativo se realizará una búsqueda exhaustiva de información en fuentes especializadas, como libros, artículos científicos y documentos técnicos. Se recopilará información descriptiva y detallada sobre los desafíos y consideraciones clave en el diseño y cálculo de cámaras frigoríficas para la industria alimentaria.

6.1.3 Técnicas de recolección de datos

En el marco de la investigación, se emplearán diversas técnicas de recolección de datos para abordar tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo. Las técnicas por utilizar son las siguientes:

Revisión bibliográfica: Se llevará a cabo una exhaustiva revisión de la literatura especializada en el diseño y cálculo de cámaras frigoríficas para la industria alimentaria. Esta técnica permitirá recopilar información teórica y conceptual sobre los diferentes aspectos a considerar en la metodología de cálculo.

Análisis de documentos técnicos: Se examinarán documentos técnicos, normativas, manuales y guías relacionados con el diseño y uso de cámaras frigoríficas. Estos documentos proporcionarán información específica sobre estándares, parámetros y requisitos relevantes para la metodología de cálculo.

Observación y registro de casos prácticos: Se llevará a cabo la observación directa de casos prácticos de diseño y cálculo de cámaras frigoríficas en la industria alimentaria. Esta técnica permitirá obtener información de primera mano sobre los procesos, desafíos y consideraciones involucrados en la implementación de estas instalaciones.

6.2 Técnicas y herramientas de análisis de datos

Para el análisis de los datos recolectados en esta investigación (Herrera, 2018), se emplearán las siguientes técnicas y herramientas:

Análisis de contenido: Esta técnica se emplea en el análisis cualitativo de datos. Consiste en identificar, codificar y categorizar los temas, patrones documentos revisados. El análisis de contenido puede realizarse manualmente o utilizando software especializado, como Atlas.ti o NVivo.

Análisis de frecuencia: Esta técnica se utiliza en el análisis cuantitativo de datos. Consiste en contar y calcular la frecuencia de ocurrencia de determinados elementos o variables en los datos recolectados. Puede realizarse utilizando hojas de cálculo o software estadístico, como Excel o SPSS.

Análisis comparativo: Esta técnica se emplea para identificar similitudes y diferencias entre diferentes casos, metodologías o enfoques. Permite realizar una comparación sistemática y estructurada de los datos recolectados, buscando establecer relaciones y patrones. El análisis comparativo puede realizarse mediante tablas de comparación o matrices.

Análisis temático: Esta técnica se utiliza en el análisis cualitativo de datos. Consiste en identificar y agrupar los temas o categorías emergentes en los datos, a partir de la identificación de patrones recurrentes. El análisis temático permite obtener una comprensión profunda de los datos y extraer conclusiones significativas.

Análisis estadístico: En caso de contar con datos cuantitativos, se pueden emplear técnicas estadísticas para el análisis, como pruebas de hipótesis, correlaciones, análisis de regresión, entre otros. Esto permitirá obtener resultados numéricos y evaluar la significancia de las relaciones entre variables.

6.3 Fases de la investigación

El desarrollo de los objetivos planteados en esta investigación se llevará a cabo a través de distintas fases, con el fin de garantizar un enfoque sistemático y riguroso en el proceso. Estas fases permitirán abordar de manera integral los aspectos relevantes para la elaboración de la metodología de cálculo de cámaras frigoríficas en la industria alimentaria. Cada fase estará diseñada para alcanzar los objetivos específicos propuestos, utilizando las técnicas y herramientas de recolección y análisis de datos adecuadas. Este enfoque por fases facilitará una estructura organizada y coherente en el desarrollo de la investigación, permitiendo un avance progresivo hacia la consecución de los resultados esperados. Como se puede observar en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Fases de la investigación

FASES	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS DE DESARROLLO
Fase 1: Definición de componentes	Revisar la literatura científica y técnica relacionada con los componentes de una cámara frigorífica. Analizar la documentación técnica de empresas de la industria alimentaria para identificar los componentes utilizados comúnmente. Consultar a expertos en diseño y uso de cámaras frigoríficas para obtener información detallada sobre los componentes clave.	Bases de datos académicas y científicas Libros y publicaciones especializadas en refrigeración y cámaras frigoríficas Documentación técnica y manuales de equipos y sistemas de refrigeración
Fase 2: Establecimiento de criterios	Revisar casos de éxito en el diseño de cámaras frigoríficas en la industria alimentaria.	Revisar casos de éxito en el diseño de cámaras frigoríficas en la industria alimentaria.

FASES	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS DE DESARROLLO
	Analizar normativas y estándares relacionados con el diseño y dimensionamiento de cámaras frigoríficas.	Estudios de casos y proyectos exitosos de cámaras frigoríficas
Fase 3: Procedimiento de estimación	Identificar las variables relevantes para el cálculo de inversión en cámaras frigoríficas. Recopilar datos de costos y presupuestos de instalaciones de cámaras frigoríficas existentes. Utilizar software especializado en cálculos de inversión para estimar los costos asociados con la instalación de cámaras frigoríficas.	Revisión de estudios económicos y de costos relacionados con cámaras frigoríficas Análisis de presupuestos y cotizaciones de proveedores de equipos y sistemas de refrigeración Herramientas de software de cálculo económico y financiero
Fase 4: Designación de herramienta digital	Investigar y evaluar las herramientas digitales existentes para la memoria de cálculo en cámaras frigoríficas. Seleccionar la herramienta digital más adecuada que facilite la memoria de cálculo para la preservación de productos perecederos.	Bases de datos de software y herramientas digitales disponibles en el mercado Análisis comparativo y evaluación de herramientas digitales

Fuente: Elaboración propia

Fase 1: Definición de componentes: En esta fase, se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con los componentes de una cámara frigorífica. Además, se analiza la documentación técnica de empresas de la industria alimentaria para identificar los componentes más utilizados en el diseño de estas cámaras. También se consulta a expertos en el campo del diseño y uso de cámaras frigoríficas para obtener información detallada sobre los componentes clave. Estas actividades permiten recopilar información actualizada y precisa sobre los componentes necesarios para el cálculo y diseño de la cámara frigorífica.

Fase 2: Establecimiento de criterios: En esta fase, se lleva a cabo un análisis de casos de éxito en el diseño de cámaras frigoríficas en la industria alimentaria. También se revisan normativas y estándares relacionados con el diseño y dimensionamiento de estas cámaras. Estas actividades proporcionan un marco de referencia sólido y permiten establecer criterios claros y relevantes para el diseño y dimensionamiento de la cámara frigorífica, asegurando así su eficiencia y cumplimiento de regulaciones y estándares.

Fase 3: Procedimiento de estimación: En esta fase, se identifican las variables relevantes para el cálculo de inversión en cámaras frigoríficas. Se recopilan datos de costos y presupuestos de instalaciones de cámaras frigoríficas existentes, lo que proporciona información concreta sobre los gastos asociados a estas instalaciones. Además, se utiliza software especializado en cálculos de inversión para estimar de manera precisa y confiable los costos relacionados con la instalación de cámaras frigoríficas. Estas actividades permiten obtener un procedimiento de estimación de costos sólido y fundamentado, que facilita la toma de decisiones económicas y financieras en relación con la instalación de cámaras frigoríficas.

Fase 4: Designación de herramienta digital: En esta fase, se investigan y evalúan las herramientas digitales existentes para la memoria de cálculo en cámaras frigoríficas. Se analizan bases de datos de software y herramientas digitales disponibles en el mercado, considerando su funcionalidad, precisión y facilidad de uso. Posteriormente, se selecciona la herramienta digital más adecuada que facilite la memoria de cálculo para la preservación de productos perecederos. Esta elección se basa en un análisis comparativo y una evaluación exhaustiva de las herramientas digitales disponibles. Al designar una herramienta digital eficiente y precisa, se garantiza una gestión eficiente de los cálculos y la preservación de productos en la cámara frigorífica.

6.4 Limitaciones y consideraciones éticas

Durante el desarrollo de esta tesis, es importante tener en cuenta algunas limitaciones que podrían afectar los resultados y conclusiones obtenidos. Estas limitaciones incluyen:

Disponibilidad de información: La obtención de información relevante y actualizada sobre el diseño y cálculo de cámaras frigoríficas puede verse limitada debido a la falta de acceso a ciertos recursos, como documentación técnica especializada o datos específicos de empresas. Esto podría influir en la exhaustividad de la investigación y en la precisión de los resultados.

Variabilidad de las metodologías existentes: La revisión de literatura y la consulta a expertos pueden revelar una variedad de enfoques y metodologías utilizadas en el diseño y cálculo de cámaras frigoríficas. Esta diversidad puede dificultar la identificación de una metodología única y estandarizada. Por lo tanto, es importante reconocer y considerar las diferencias entre las diversas metodologías existentes.

Restricciones de tiempo y recursos: El desarrollo completo de una metodología de cálculo de cámaras frigoríficas requiere de tiempo, recursos y personal adecuados. En algunos casos, las limitaciones de tiempo y recursos pueden restringir el alcance y la profundidad de la investigación. Es importante ser consciente de estas limitaciones y realizar un uso eficiente de los recursos disponibles.

Además, también se deben tener en cuenta algunas consideraciones éticas para garantizar la integridad y obtener fuentes de información confiable. Estas consideraciones incluyen:

Atribución y referencias: Es fundamental respetar los derechos de autor y reconocer adecuadamente las fuentes utilizadas en la investigación. Se deben citar y referenciar correctamente todas las fuentes consultadas, asegurando que se

reconozca el trabajo y las contribuciones de otros investigadores y expertos en el campo.

Honestidad científica: Es esencial mantener altos estándares de honestidad científica en todas las etapas de la investigación. Esto implica presentar los resultados de manera objetiva y precisa, evitar la manipulación o tergiversación de datos, así como reconocer y abordar cualquier conflicto de intereses que pueda surgir

VII. RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos en el estudio realizado sobre sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas, abarcando aspectos clave como el diseño, dimensionamiento, costos y el uso de herramientas digitales en el proceso. Los objetivos específicos del estudio se han organizado en diferentes secciones para su análisis detallado.

En primer lugar, se examinan los distintos tipos de cámaras frigoríficas existentes, considerando sus características y aplicaciones particulares. Asimismo, se profundiza en los componentes principales de estas cámaras, los cuales desempeñan un papel fundamental en la metodología de cálculo y selección de datos para un diseño óptimo.

A continuación, se aborda el proceso de diseño y dimensionamiento de las cámaras frigoríficas, estableciendo los criterios de cálculo utilizados en el estudio. Estos criterios son esenciales para determinar las necesidades de refrigeración, capacidad y eficiencia del sistema. Además, se analiza la normativa aplicable en el diseño de estas instalaciones, asegurando el cumplimiento de los estándares y regulaciones pertinentes.

En cuanto a las inversiones y costos asociados a la implementación de cámaras frigoríficas, se presenta un procedimiento de estimación de cálculos que considera aspectos como el costo de los equipos, la instalación y el mantenimiento. Este análisis permitirá a las industrias del país tomar decisiones informadas y planificar de manera efectiva la incorporación de estas instalaciones.

Finalmente, se exploran las herramientas digitales utilizadas en el estudio, presentando una herramienta recomendada que facilita la memoria de cálculo y el diseño eficiente de las cámaras frigoríficas. Esta herramienta digital contribuye al ahorro energético y al ahorro de tiempo, asegurando la preservación adecuada de los productos perecederos en estas cámaras.

En resumen, este capítulo de resultados aborda los objetivos específicos del estudio, tales como la definición de componentes de cámaras frigoríficas, los criterios de cálculo utilizados en el diseño, el procedimiento de estimación de costos y la selección de una herramienta digital recomendada. Los resultados presentados en este capítulo brindan aportes valiosos para la comprensión y optimización de los sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas en diversas industrias.

7.1 Tipos de cámaras frigoríficas

Hay dos categorías principales de cámaras frigoríficas (ver Figura 1): las destinadas a la **refrigeración** y las diseñadas para la **congelación**.

Figura 1. cámara frigorífica



Nota: figura tomada de Frigibel (Frigibel, 2016)

Las cámaras de **refrigeración** son utilizadas para guardar y preservar mercancías a una temperatura cercana a los 0°C, por lo general se encargan de conservar productos frescos como verduras, frutas, carne, pescado o lácteos. Por otro lado, las cámaras de **congelación** están diseñadas específicamente para almacenar productos a temperaturas de congelación (menor a 0°), ajustándose a las necesidades de conservación de cada tipo de mercancía (doorfrig, 2020).

Estos sistemas de almacenamiento en frío son ampliamente utilizados en todo el mundo debido a su capacidad para mantener alimentos y productos en condiciones óptimas. Gracias a su eficiente aislamiento y capacidad de conservación, las cámaras frigoríficas garantizan la calidad y frescura de los productos almacenados. Además, permiten prolongar la vida útil de los alimentos y mercancías, evitando su deterioro y reduciendo el desperdicio (doorfrig, 2020).

7.1.1 Componentes principales

La cámara frigorífica es un sistema especializado diseñado para mantener una temperatura constante y baja en su interior, lo cual es fundamental para la conservación de productos sensibles al calor, como alimentos perecederos o productos farmacéuticos. Para lograr este objetivo, la cámara frigorífica cuenta con diversos componentes principales que desempeñan funciones clave en su funcionamiento (doorfrig, 2020).

Para identificar los elementos principales de las cámaras frigoríficas, se llevó a cabo una exhaustiva revisión de literatura, incluyendo sitios web especializados y libros de referencia. Tras analizar diversas fuentes, se estableció un consenso general sobre los componentes fundamentales de estas cámaras. La Tabla 2 presenta de manera detallada los componentes principales identificados en el estudio.

Tabla 2. Componentes principales

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	FIGURA
Panel de aislamiento	Es la estructura que conforma las paredes, el techo y el piso de la cámara frigorífica. Está compuesto por paneles aislantes, generalmente de poliuretano o poliestireno expandido, que ayudan a mantener una temperatura constante y evitar la transferencia de calor desde el exterior (Moreno, 2000).	

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	FIGURA
Puerta	La puerta de la cámara frigorífica es un componente esencial que debe ofrecer un buen sellado para evitar la entrada de aire caliente y mantener la temperatura interior. Suele estar equipada con juntas de goma o burletes para asegurar un cierre hermético (doorfrig, 2020).	
Sistema de refrigeración	Este sistema es el encargado de generar y mantener la temperatura baja en el interior de la cámara frigorífica. Puede incluir un compresor, un evaporador, un condensador y un sistema de circulación de refrigerante, como un ciclo de refrigeración por compresión o un ciclo de refrigeración por absorción (Moreno, 2000).	
Control de temperatura	Es un elemento fundamental para mantener la temperatura deseada dentro de la cámara frigorífica. Puede consistir en un termostato o un controlador electrónico que permite ajustar y monitorear la temperatura (doorfrig, 2020).	

La Tabla 2 muestra los componentes principales de una cámara frigorífica. Cabe mencionar que puede haber otros elementos adicionales dependiendo del diseño específico y las necesidades particulares de cada instalación.

7.1.2 Procedimiento de diseño

El diseño y dimensionamiento de cámaras frigoríficas es un proceso crucial para garantizar un almacenamiento óptimo de productos sensibles a la temperatura. Este proceso se basa en una serie de pasos bien definidos que permiten crear un entorno controlado y eficiente (Moreno, 2000).

El proceso de diseño y dimensionamiento de cámaras frigoríficas generalmente sigue los siguientes pasos mostrados en la Figura 2:

Figura 2. Esquema general de la metodología



Nota: elaboración propia

-) **Requerimientos y especificaciones:** El primer paso es identificar y definir los requerimientos y especificaciones del cliente. Esto incluye determinar la temperatura deseada para la cámara (refrigeración o congelación), la

capacidad de almacenamiento requerida, los tipos de productos a almacenar, la frecuencia de carga y descarga, y cualquier otro requisito específico.

-) **Cálculo de carga térmica:** Se realiza un cálculo de la carga térmica de la cámara frigorífica, que determina la cantidad de calor que debe ser extraída para mantener la temperatura interior. Este cálculo considera factores como la conductividad térmica de los materiales, las pérdidas de calor a través de las paredes, puertas, techo y piso, la carga térmica debida a la carga y descarga de productos, entre otros.
-) **Selección del sistema de refrigeración:** Una vez calculada la carga térmica, se selecciona el sistema de refrigeración adecuado que pueda cumplir con los requerimientos de temperatura y capacidad. Esto implica elegir el tipo de sistema (compresión, absorción, etc.), el tamaño y capacidad del compresor, el evaporador, el condensador y otros componentes del sistema.
-) **Diseño estructural:** Se realiza el diseño estructural de la cámara frigorífica, considerando el tamaño, la forma y la disposición interna requerida. Se determina el tipo de paneles aislantes y su espesor, así como los materiales de construcción para asegurar un adecuado aislamiento térmico.
-) **Dimensionamiento de puertas y sistemas de sellado:** Se dimensionan las puertas de la cámara frigorífica y se seleccionan sistemas de sellado eficientes para evitar la entrada de aire caliente. Se considera el tamaño, la resistencia al frío y la hermeticidad de las puertas.
-) **Sistema de control:** Se diseña el sistema de control de temperatura y supervisión de la cámara frigorífica. Esto puede incluir la selección y configuración de sensores de temperatura, termostatos, controladores electrónicos y sistemas de alarma.
-) **Ventilación y distribución de aire:** Se diseñan los sistemas de ventilación y distribución de aire para garantizar una circulación adecuada del frío en toda la cámara y evitar zonas con temperaturas desiguales.

-) **Iluminación:** Se determina el tipo y la ubicación de la iluminación interior, asegurando que cumpla con las normativas de seguridad y eficiencia energética.
-) **Verificación y ajuste:** Una vez completado el diseño, se verifica su viabilidad y se realizan ajustes si es necesario. Se pueden realizar simulaciones y pruebas para garantizar que el diseño cumpla con los requerimientos establecidos.
-) **Construcción e instalación:** Finalmente, se procede a la construcción e instalación de la cámara frigorífica siguiendo el diseño y las especificaciones establecidas. Se lleva a cabo la instalación de los componentes del sistema de refrigeración, los paneles aislantes, las puertas y los sistemas de control.

Es fundamental resaltar que el diseño y dimensionamiento de cámaras frigoríficas pueden variar de acuerdo con las necesidades particulares de cada proyecto y los estándares propios de la industria. En las siguientes secciones se detallan minuciosamente los pasos a seguir para llevar a cabo el dimensionamiento de estas cámaras, incluyendo tablas y fórmulas pertinentes que serán empleadas en el proceso.

7.2 Diseño y dimensionamiento

En este apartado se muestran los criterios de diseño, la normativa y el procedimiento para el dimensionamiento de una cámara frigorífica.

7.2.1 Criterios de cálculo

Al diseñar una cámara frigorífica, se utilizan varios criterios de cálculo para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente. A continuación, se presentan algunos de los criterios comunes utilizados en el diseño de cámaras frigoríficas:

7.2.1.1 Refrigerante

La elección del refrigerante es un aspecto crítico en el cálculo y diseño de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas, ya que afecta directamente su rendimiento y su impacto ambiental. Los refrigerantes se clasifican en diferentes categorías, como Hidrofluroclorocarbonados (HCFC), Hidrofluorocarbonados (HFC), Hidrofluoroolefinas (HFO) y Refrigerantes naturales (HC) (Moreno, 2000).

Cuando se selecciona un refrigerante, es importante considerar varios factores clave. A continuación, se muestran estos factores:

Capacidad de refrigeración: El refrigerante debe tener la capacidad de extraer calor eficientemente del espacio a enfriar. La capacidad de refrigeración del refrigerante se expresa en términos de su capacidad calorífica y su coeficiente de transferencia de calor (Moreno, 2000).

Eficiencia energética: La elección del refrigerante puede tener un impacto significativo en la eficiencia energética del sistema. Algunos refrigerantes tienen un mayor potencial de agotamiento del ozono (ODP) y un mayor potencial de calentamiento global (GWP), lo que puede afectar negativamente el medio ambiente. Es importante seleccionar refrigerantes que tengan un bajo ODP y un bajo GWP para minimizar el impacto ambiental (Moreno, 2000).

Temperatura de evaporación y condensación: El rango de temperaturas de evaporación y condensación del refrigerante debe estar en línea con los requisitos de temperatura de la cámara frigorífica. Algunos refrigerantes son más adecuados para temperaturas bajas (congelación), mientras que otros son más adecuados para temperaturas más altas (refrigeración) (Moreno, 2000).

Estabilidad y compatibilidad: El refrigerante debe ser químicamente estable y compatible con los materiales del sistema de refrigeración, incluidos los componentes como compresores, evaporadores, condensadores y tuberías. Se

deben evitar los refrigerantes que puedan causar corrosión o daños a los componentes del sistema (Moreno, 2000).

Costo y disponibilidad: El costo y la disponibilidad del refrigerante son consideraciones prácticas a tener en cuenta. Algunos refrigerantes pueden ser más costosos o difíciles de obtener en comparación con otros. Además, las regulaciones y restricciones gubernamentales pueden influir en la disponibilidad y el uso de ciertos refrigerantes (Moreno, 2000).

Algunos ejemplos de refrigerantes incluyen R-32, R-134a, R-404A, R-410A, R-290, R-600a, R-1234-yf, R-1234-ze y CO₂. Cada uno de ellos tiene características específicas en términos de ODP, GWP y nivel de impacto ambiental como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de refrigerantes

Refrigerante	Tipo	ODP	GWP	Nivel
R-32	HFC	Cero	675	Medio
R-134a	HFC	Cero	1430	Medio
R-404A	HFC	Cero	3922	Alto
R-410A	HFC	Cero	2088	Medio
R-290	HC	Cero	3	Bajo
R-600a	HC	Cero	3	Bajo
R-1234-yf	HFO	Cero	4	Bajo
R-1234-ze	HFO	Cero	6	Bajo
CO ₂		Cero	1	Bajo

Nota: tabla tomada de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022)

En conclusión, la elección del refrigerante adecuado implica considerar la capacidad de refrigeración, eficiencia energética, temperaturas de evaporación y condensación, estabilidad y compatibilidad, así como el costo y la disponibilidad. Tomar en cuenta estos factores garantiza un diseño óptimo y sostenible de los sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas.

7.2.1.2 Carga térmica

El cálculo preciso de la carga térmica desempeña un papel fundamental al determinar la cantidad exacta de calor que debe ser eliminada de una cámara frigorífica. Cuando se trata de congelar o almacenar productos a temperaturas inferiores a su punto de congelación, la carga térmica del producto se descompone en tres componentes principales (DOSSAT, 1980):

-) **Parte 1. Calor liberado al enfriarse:** Este componente refleja la energía térmica cedida por el producto al descender desde su temperatura inicial hasta alcanzar su temperatura de congelación deseada. se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 10

$$Q = m * c * \Delta$$

Donde:

Q: cantidad de calor en btu

m: masa del producto en libras

c: calor específico arriba de congelación btu/lb*°F

Δ : cambio en la temperatura del producto en °F

-) **Parte 2. Calor liberado durante la solidificación:** Aquí se considera la energía térmica liberada por el producto durante el proceso de solidificación o congelación, a medida que pasa de un estado líquido a uno sólido.

Para calcular se usa la siguiente ecuación:

Ecuación 11

$$Q = m * h_{f,i}$$

Donde:

m: masa del producto en libras

h_f : calor latente del producto en btu/libra

-) **Parte 3. Calor liberado al alcanzar la temperatura de almacenamiento final:** Este componente abarca la energía térmica liberada por el producto mientras se enfría desde su temperatura de congelación hasta llegar a la temperatura final de almacenamiento.

Para su cálculo se usa la Ecuación 10

Es importante abordar estos tres aspectos de manera precisa para obtener una estimación completa y precisa de la carga térmica total. Este análisis detallado es esencial para diseñar un sistema de refrigeración adecuado que pueda mantener las condiciones de temperatura requeridas en la cámara frigorífica de manera eficiente y confiable (DOSSAT, 1980). Este método corresponde al cálculo de la carga del producto debido a la reducción de temperatura.

7.2.1.3 Cálculo de cargas varias

Las diversas cargas incluyen el calor liberado por la iluminación, los motores eléctricos en operación dentro del recinto y el calor generado por las personas que realizan labores en el interior de la cámara frigorífica (DOSSAT, 1980).

- Cargas térmicas internas

A. Carga térmica debida a la iluminación:

Se refiere a la cantidad de calor que es generada por las fuentes de iluminación en un espacio. Cuando se utilizan luces, ya sean incandescentes, fluorescentes o LED, estas emiten energía en forma de luz, pero también generan calor como subproducto. Este calor contribuye a la carga térmica total del sistema de refrigeración (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022). Se debe tener en cuenta el tipo de unidades de alumbrado (ver las Figura 3 y Figura 4)

Clasificación "a"	Luces del cuarto y disposición de la ventilación
0.45	Luces empotradas no venteadas. Para bajo flujo aire, menos de 0.5 cfm/ft2.
0.55	Luces empotradas no venteadas. Para flujo medio a alto de aire, más de 0.5 cfm/ft2.
0.65	Luces de grupo venteadas. Para flujo medio a alto de aire, más de 0.5 cfm/ft2.
0.75	Luces venteadas y colgantes.

Figura 3. Clasificación "A" de luces, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).

Circulación de aire del cuarto. Tipo de suministro y retorno	MATERIAL, ANCHO Y PESO DEL PISO.				
	2 in. Madera 10 Lb/ft ²	3 in. Concreto 40 Lb/ft ²	6 in. Concreto 75 Lb/ft ²	8 in. Concreto 120 Lb/ft ²	12 in. Concreto 160 Lb/ft ²
Flujo bajo-medio requerido para manejar la carga de enfriamiento suministrada a través de pisos, paredes o difusores de techos.	B	B	C	D	D
Flujo medio de ventilación suministrado a través de pisos, paredes o difusores de techos.	A	B	C	D	D
Alto aire de circulación inducido por un aire primario por medio de un ventilador. Retorno a través del techo.	A	B	C	C	D
Gran circulación de aire usada para minimizar los gradientes de temperatura del cuarto. Retorno a través del techo.	A	A	B	C	D

Figura 4. Clasificación "B" de luces, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).

y se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_e = W F_u F_s C$$

Ecuación 12

Donde, se multiplica I_l potencia instalada de luces (W), por tres factores: el factor de utilización (F_u), encontrado en la Figura 5, el factor de balastro (F_s) presente en la Figura 6 y el factor de carga de enfriamiento (C). El resultado $Q_e =$ ganancia

de calor [W], representa la cantidad de calor adicional generada en el espacio debido a la iluminación.

(Source: *Lighting heat gain distribution in buildings*, RP-1282, 2006)

Luminaire Category	Space Fraction	Radiative Fraction	Notes
Recessed fluorescent luminaire without lens	0.64–0.74	0.48–0.68	Use middle values in most situations. May use higher space fraction and lower radiative fraction for luminaire with side-slot returns. May use lower values of both fractions for direct/indirect luminaire. May use higher values of both fractions for ducted returns.
Recessed fluorescent luminaire with lens	0.40–0.50	0.61–0.73	May adjust values in the same way as for recessed fluorescent luminaire without lens.
Downlight compact fluorescent luminaire	0.12–0.24	0.95–1.0	Use middle or high values if detailed features are unknown. Use low value for space fraction and high value for radiative fraction if there are large holes in the reflector of the luminaire.
Downlight incandescent luminaire	0.70–0.80	0.95–1.0	Use middle values if lamp type is unknown. Use low value for space fraction if a standard lamp (e.g., A-lamp) is used. Use high value for space fraction if a reflector lamp (e.g., BR-lamp) is used.
Non-in-ceiling fluorescent luminaire	1.0	0.5–0.57	Use lower value for radiative fraction for surface-mounted luminaire. Use higher value for radiative fraction for pendant luminaire.

Figura 5. Parámetros de ganancia de calor de iluminación para condiciones típicas de funcionamiento, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, *Lighting Heat Gain Parameters: Experimental Results* (RP-1282), 2007).

WATTS DE LA LAMPARA	Nº DE LAMPARAS POR CUARTO	F _{ca}
35	1	1.30
40	1	1.30
35	2	1.20
40	2	1.20
60	1	1.30
75	1	1.30
60	2	1.20
75	2	1.20
110	1	1.25
110	2	1.07
160	1	1.15
160	2	1.08
185	1	1.08
215	1	1.08
185	2	1.06
215	2	1.06

Figura 6. Factor de balastro, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).

B. Carga térmica debida a los equipos

Se refiere a la cantidad de calor que generan los dispositivos electrónicos o máquinas en un espacio, se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 13

$$q_s = C_s q_r C$$

Donde

q_s = es la carga sensible de enfriamiento [W]

C_s = es el coeficiente de calor sensible (véase la Figura 7)

q_r = es la potencia del fabricante

C = es el factor de carga de enfriamiento

Tipo Equipo	C_s	C_l
Electrodoméstico con campana o calentado con vapor	0.16	0.0
Con campana y calentados por gas	0.10	0.0
Electrodoméstico sin campana o calentado con vapor	0.33	0.17
Sin campana y calentados por gas	0.33	0.17

Figura 7. Coeficientes por equipo, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).

Ecuación 14

$$q_l = C_l q_r$$

Donde

q_l = es la carga latente de enfriamiento [W]

C_l = es el coeficiente de calor latente (véase la Figura 7)

q_r = es la potencia del fabricante

C. Carga térmica debida a motores eléctricos.

Se refiere al calor generado durante su funcionamiento. Está determinada por factores como la potencia del motor, su eficiencia y el tiempo de operación (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022). Es importante considerar esta carga térmica al diseñar sistemas de refrigeración o climatización, ya que el exceso de calor puede afectar el rendimiento y la eficiencia energética. La carga térmica por motores eléctricos y equipos conducidos por motores eléctricos se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 15

$$q_s = A \times F_t \times C$$

Donde

q_s = es la Carga sensible de enfriamiento [W]

A = es la ubicación del motor respecto al espacio refrigerado en [W] (ver Figura 8).

POTENCIA DEL MOTOR	TIPO DE MOTOR	RPM NOMINAL	EFICIENCIA %	UBICACIÓN DEL MOTOR RESPECTO AL ESPACIO REFRIGERADO		
				A	B	C
				MOTOR Y EQUIPO DENTRO	MOTOR FUERA Y EQUIPO DENTRO	MOTOR DENTRO Y EQUIPO FUERA
0,05	Shaded Pole	1500	35	360	130	240
0,08	Shaded Pole	1500	35	580	200	380
0,125	Shaded Pole	1500	35	900	320	590
0,16	Shaded Pole	1500	35	1160	400	760
0,25	Split Phase	1750	54	1180	640	540
0,33	Split Phase	1750	56	1500	840	660
0,5	Split Phase	1750	60	2120	1270	850
0,75	Trifásico	1750	72	2650	1900	740
1	Trifásico	1750	75	3390	2550	850
1,5	Trifásico	1750	77	4960	3820	1140
2	Trifásico	1750	79	6440	5090	1350
3	Trifásico	1750	81	9430	7640	1790
5	Trifásico	1750	82	15500	12700	2790
7,5	Trifásico	1750	84	22700	19100	3640
10	Trifásico	1750	85	29900	24500	4490
15	Trifásico	1750	86	44400	38200	6210
20	Trifásico	1750	87	58500	50900	7610
25	Trifásico	1750	88	72300	63600	8680
30	Trifásico	1750	89	85700	76350	9440
40	Trifásico	1750	89	114000	102000	12600
50	Trifásico	1750	89	143000	127000	15700
60	Trifásico	1750	89	172000	153000	18900
75	Trifásico	1750	90	212000	191000	21200
100	Trifásico	1750	90	283000	255000	28300
125	Trifásico	1750	90	353000	318000	35300
150	Trifásico	1750	91	420000	382000	37800
200	Trifásico	1750	91	559000	509000	50300
250	Trifásico	1750	91	699000	636000	62900

Figura 8. Ganancia de calor para motores eléctricos típicos, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).

F_L = es el Factor de carga. F_L es potencia utilizada, dividido por caballo de fuerza nominal. Para motores pequeños $F_L = 1$. Ver la Figura 9 para sobrecargas, si se dispone de los datos de rendimiento del fabricante.

POTENCIA	0.05-0.25	0.16-0.33	0.67-0.75	Mayores a 1
AC abiertos	1.4	1.35	1.25	1.15
AC TEFC y DC	-	1.0	1.0	1.0

Figura 9. Limitadores típicos de sobrecarga I_T para motores estándar, tomado de (Chantrasrisalai & Fisher, 2007).

C = es el Factor de carga de enfriamiento (ver la Figura 10)

Type of Use	Load Factor*, W/m ²	Description
100% laptop, docking station light	3.67	15.5 m ² /workstation, all laptop docking station use, 1 printer per 10
medium	4.91	11.6 m ² /workstation, all laptop docking station use, 1 printer per 10
50% laptop, docking station light	4.75	15.5 m ² /workstation, 50% laptop docking station/50% desktop, 1 printer per 10
medium	6.35	11.6 m ² /workstation, 50% laptop docking station/50% desktop, 1 printer per 10
100% desktop light	5.83	15.5 m ² /workstation, all desktop use, 1 printer per 10
medium	7.79	11.6 m ² /workstation, all desktop use, 1 printer per 10
100% laptop, docking station 2 screens	7.44	11.6 m ² /workstation, all laptop docking station use, 2 screens, 1 printer per 10

Type of Use	Load Factor*, W/m ²	Description
100% desktop 2 screens	9.06	11.6 m ² /workstation, all laptop use, 2 screens, 1 printer per 10
3 screens	10.33	11.6 m ² /workstation, all desktop use, 3 screens, 1 printer per 10
100% desktop heavy, 2 screens	11.00	7.9 m ² /workstation, all desktop use, 2 screens, 1 printer per 8
heavy, 3 screens	12.49	7.9 m ² /workstation, all desktop use, 3 screens, 1 printer per 8
100% laptop, docking station full on, 2 screens	12.23	7.9 m ² /workstation, all laptop docking use, 2 screens, 1 printer per 8, no diversity
100% desktop full on, 2 screens	14.35	7.9 m ² /workstation, all desktop use, 2 screens, 1 printer per 8, no diversity
full on, 3 screens	16.48	7.9 m ² /workstation, all desktop use, 3 screens, 1 printer per 8, no diversity

Figura 10. Factores de carga recomendados (Sarfranz & Bach, 2018).

D. Carga térmica debida a las personas

Se refiere al calor generado por la presencia y actividad humana en un espacio. El cuerpo humano produce calor como resultado del metabolismo y la actividad física, lo que contribuye a la carga térmica total de un ambiente al sistema (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022). Aportan calor sensible y latente (humedad), que a su vez depende de la actividad; a mayor actividad mayor fracción latente. Por otro lado, el calor sensible depende del espacio acondicionado, es decir las fracciones radiante y convectivas. La carga térmica debida a las personas se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{Q}{p} \times p \times C$$

Ecuación 16

Donde:

Q_p = es el calor generado por las personas en el espacio. Representa la carga térmica debida a la presencia y actividad humana.

Q = es la carga térmica total del ambiente o sistema. Incluye todas las fuentes de calor presentes en el espacio, como las personas, equipos electrónicos, iluminación, etc.

$\frac{Q}{p}$ = es la carga térmica sensible por persona. Representa la cantidad de calor sensible generada por cada individuo debido a su metabolismo y actividad física.

p = es el número total de personas presentes en el espacio. Indica la cantidad de individuos cuyo calor corporal contribuye a la carga térmica del ambiente.

C = es el Factor de Carga de Enfriamiento (Cooling Load Factor). Este factor tiene en cuenta la fracción latente (relacionada con la humedad) y la fracción sensible del calor generado por las personas. Dependiendo del nivel de actividad, este valor puede variar, ya que, a mayor actividad física, se producirá más calor latente y, por lo tanto, se requerirá más capacidad de enfriamiento.

Se tienen en cuenta factores como: Tasas representativas a las que los seres humanos emiten calor y humedad (véase en la Figura 11), generación típica de calor metabólico (véase en la Figura 12) y los coeficientes de transferencia de calor por convección (véase en la Figura 13).

Degree of Activity	Location	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low F ^c	High F ^c
Seated at theater	Theater	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:
1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, total heat remains the same, but sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and latent heat values increased accordingly.
2. Also see Table 4, Chapter 9, for additional rates of metabolic heat generation.
3. All values are rounded to nearest 5 W.
^aAdjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, and assumes that gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and gain from a child is 75% of that for an adult male.
^bValues approximated from data in Table 6, Chapter 9, where F is air velocity with limits shown in that table.
^cAdjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).
^dFigure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

Figura 11. Tasas representativas a las que los seres humanos emiten calor y humedad en diferentes estados de actividad, tomado de (ASHRAE a, 2005).

	W/m ²	met ^a			
Resting			Driving/Flying		
Sleeping	40	0.7	Car	60 to 115	1.0 to 2.0
Reclining	45	0.8	Aircraft, routine	70	1.2
Seated, quiet	60	1.0	Aircraft, instrument landing	105	1.8
Standing, relaxed	70	1.2	Aircraft, combat	140	2.4
			Heavy vehicle	185	3.2
Walking (on level surface)			Miscellaneous Occupational Activities		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2.0	Cooking	95 to 115	1.6 to 2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2.6	Housecleaning	115 to 200	2.0 to 3.4
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3.8	Seated, heavy limb movement	130	2.2
Office Activities			Machine work		
Reading, seated	55	1.0	sawing (table saw)	105	1.8
Writing	60	1.0	light (electrical industry)	115 to 140	2.0 to 2.4
Typing	65	1.1	heavy	235	4.0
Filing, seated	70	1.2	Handling 50 kg bags	235	4.0
Filing, standing	80	1.4	Pick and shovel work	235 to 280	4.0 to 4.8
Walking about	100	1.7	Miscellaneous Leisure Activities		
Lifting/packing	120	2.1	Dancing, social	140 to 255	2.4 to 4.4
			Calisthenics/exercise	175 to 235	3.0 to 4.0
			Tennis, singles	210 to 270	3.6 to 4.0
			Basketball	290 to 440	5.0 to 7.6
			Wrestling, competitive	410 to 505	7.0 to 8.7

Sources: Compiled from various sources. For additional information, see Buskirk (1960), Passmore and Darnin (1967), and Webb (1964).
^a1 met = 58.1 W/m²

Figura 12. Generación típica de calor metabólico para diversas actividades, tomado de (ASHRAE a, 2005).

Equation	Limits	Condition	Remarks/Sources
$h_c = 8.3V^{0.6}$ $h_c = 3.1$	$0.2 < V < 4.0$ $0 < V < 0.2$	Seated with moving air	Mitchell (1974)
$h_c = 2.7 + 8.7V^{0.67}$ $h_c = 5.1$	$0.15 < V < 1.5$ $0 < V < 0.15$	Reclining with moving air	Colin and Houdas (1967)
$h_c = 8.6V^{0.53}$	$0.5 < V < 2.0$	Walking in still air	V is walking speed (Nishi and Gagge 1970)
$h_c = 5.7(M - 0.8)^{0.39}$	$1.1 < M < 3.0$	Active in still air	Gagge et al. (1976)
$h_c = 6.5V^{0.39}$	$0.5 < V < 2.0$	Walking on treadmill in still air	V is treadmill speed (Nishi and Gagge 1970)
$h_c = 14.8V^{0.69}$ $h_c = 4.0$	$0.15 < V < 1.5$ $0 < V < 0.15$	Standing person in moving air	Developed from data presented by Seppänen et al. (1972)

Note: h_c in $W/(m^2 \cdot K)$, V in m/s , and M in met , where $1 \text{ met} = 58.1 \text{ W/m}^2$.

Figura 13. Ecuaciones para coeficientes de transferencia de calor por convección, tomado de (ASHRAE a, 2005).

- Cargas térmicas externas

Se refiere a la cantidad de calor que ingresa a un espacio desde el entorno externo. Incluye factores como la transmisión de calor, radiación solar, ventilación y carga térmica por carga y descarga de productos. Debe ser calculada para determinar la carga térmica total y dimensionar el sistema de refrigeración adecuado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

A. Carga térmica debida a la transmisión de calor a través de las paredes, techos y puertas.

Está determinada por el área de las superficies, los materiales de construcción utilizados y sus propiedades térmicas (ver la Figura 14), así como la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. De igual manera, se tiene en cuenta la convección, conducción y la resistencia térmica de las superficies (véase en la Figura 15).

[Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 26, Table 1]

Description	Density, kg/m ³	Conductivity ^a k, W/(m·K)	Resistance R, (m ² ·K)/W	Specific Heat, kJ/(kg·K)	Reference ¹
Insulating Materials					
<i>Blanket and batt^{c,d}</i>					
Glass-fiber batts.....				0.8	Kumaran (2002)
	7.5 to 8.2	0.046 to 0.048	—	—	Four manufacturers (2011)
	9.8 to 12	0.040 to 0.043	—	—	Four manufacturers (2011)
	13 to 14	0.037 to 0.039	—	—	Four manufacturers (2011)
	22	0.033	—	—	Four manufacturers (2011)
Rock and slag wool batts.....	—	—	—	0.8	Kumaran (1996)
	32 to 37	0.036 to 0.037	—	—	One manufacturer (2011)
	45	0.033 to 0.035	—	—	One manufacturer (2011)
Mineral wool, felted.....	16 to 48	0.040	—	—	CIBSE (2006), NIST (2000)
	16 to 130	0.035	—	—	NIST (2000)
<i>Board and slabs</i>					
Cellular glass.....	120	0.042	—	0.8	One manufacturer (2011)
Cement fiber slabs, shredded wood with Portland cement binder.....	400 to 430	0.072 to 0.076	—	—	—
with magnesia oxysulfide binder.....	350	0.082	—	1.3	—
Glass fiber board.....	—	—	—	0.8	Kumaran (1996)
	24 to 96	0.033 to 0.035	—	—	One manufacturer (2011)
Expanded rubber (rigid).....	64	0.029	—	1.7	Nottage (1947)
Extruded polystyrene, smooth skin.....	—	—	—	1.5	Kumaran (1996)
aged per Can/U.L.C. Standard S770-2003.....	22 to 58	0.026 to 0.029	—	—	Four manufacturers (2011)
aged 180 days.....	22 to 58	0.029	—	—	One manufacturer (2011)
European product.....	30	0.030	—	—	One manufacturer (2011)
aged 5 years at 24°C.....	32 to 35	0.030	—	—	One manufacturer (2011)
blown with low global warming potential (GWP) (<5) blowing agent.....	—	0.035 to 0.036	—	—	One manufacturer (2011)
Expanded polystyrene, molded beads.....	—	—	—	1.5	Kumaran (1996)
	16 to 24	0.035 to 0.037	—	—	Independent test reports (2008)
	29	0.033	—	—	Independent test reports (2008)
Mineral fiberboard, wet felted.....	160	0.037	—	0.8	Kumaran (1996)
Rock wool board.....	—	—	—	0.8	Kumaran (1996)
floors and walls.....	64 to 130	0.033 to 0.036	—	—	Five manufacturers (2011)
roofing.....	160 to 180	0.039 to 0.042	—	0.8	Five manufacturers (2011)
Acoustical tile ^e	340 to 370	0.052 to 0.053	—	0.6 to 0.8	—
Perlite board.....	140	0.052	—	—	One manufacturer (2010)
Polyisocyanurate.....	—	—	—	1.5	Kumaran (1996)
unfaced, aged per Can/U.L.C. Standard S770-2003.....	26 to 37	0.023 to 0.025	—	—	Seven manufacturers (2011)
with foil facers, aged 180 days.....	—	0.022 to 0.023	—	—	Two manufacturers (2011)
Phenolic foam board with facers, aged.....	—	0.020 to 0.023	—	—	One manufacturer (2011)
<i>Loose fill</i>					
Cellulose fiber, loose fill.....	—	—	—	1.4	NIST (2000), Kumaran (1996)
attic application up to 100 mm.....	16 to 19	0.045 to 0.046	—	—	Four manufacturers (2011)
attic application > 100 mm.....	19 to 26	0.039 to 0.040	—	—	Four manufacturers (2011)
wall application, dense packed.....	56	0.039 to 0.040	—	—	One manufacturer (2011)
Perlite, expanded.....	32 to 64	0.039 to 0.045	—	1.1	(Manufacturer, pre 2001)
	64 to 120	0.045 to 0.052	—	—	(Manufacturer, pre 2001)
	120 to 180	0.052 to 0.061	—	—	(Manufacturer, pre 2001)
Glass fiber ^d	—	—	—	—	—
attics, ~100 to 600 mm.....	6.4 to 8.0	0.052 to 0.055	—	—	Four manufacturers (2011)
attics, ~600 to 1100 mm.....	8 to 9.6	0.049 to 0.052	—	—	Four manufacturers (2011)
closed attic or wall cavities.....	29 to 37	0.035 to 0.036	—	—	Four manufacturers (2011)
Rock and slag wool ^d	—	—	—	—	—
attics, ~90 to 115 mm.....	24 to 26	0.049	—	—	Three manufacturers (2011)
attics, ~125 to 430 mm.....	24 to 29	0.046 to 0.048	—	—	Three manufacturers (2011)
closed attic or wall cavities.....	64	0.039 to 0.042	—	—	Three manufacturers (2011)
Vermiculite, exfoliated.....	112 to 131	0.068	—	1.3	Sabine et al. (1975)

[Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals (2013), Chapter 26, Table 1]

Description	Density, kg/m ³	Conductivity ^a & W/(m·K)	Resistance <i>R</i> , (m ² ·K)/W	Specific Heat, kJ/(kg·K)	Reference ^b
	64 to 96	0.063	—	—	Manufacturer (pre 2001)
<i>Spray-applied</i>					
Cellulose, sprayed into open wall cavities.....	26 to 42	0.039 to 0.040	—	—	Two manufacturers (2011)
Glass fiber, sprayed into open wall or attic cavities.....	16	0.039 to 0.042	—	—	Manufacturers' association (2011)
	29 to 37	0.033 to 0.037	—	—	Four manufacturers (2011)
Polyurethane foam.....	—	—	—	1.5	Kumaran (2002)
low density, open cell.....	7.2 to 10	0.037 to 0.042	—	—	Three manufacturers (2011)
medium density, closed cell, aged 180 days.....	30 to 51	0.020 to 0.029	—	—	Five manufacturers (2011)
Building Board and Siding					
<i>Board</i>					
Asbestos/cement board.....	1900	0.57	—	1.00	Nottage (1947)
Cement board.....	1150	0.25	—	0.84	Kumaran (2002)
Fiber/cement board.....	1400	0.25	—	0.84	Kumaran (2002)
	1000	0.19	—	0.84	Kumaran (1996)
	400	0.07	—	1.88	Kumaran (1996)
	300	0.06	—	1.88	Kumaran (1996)
Gypsum or plaster board.....	640	0.16	—	1.15	Kumaran (2002)
Oriented strand board (OSB).....	9 to 11 mm	—	0.11	1.88	Kumaran (2002)
	12.7 mm	—	0.12	1.88	Kumaran (2002)
Plywood (douglas fir).....	12.7 mm	—	0.14	1.88	Kumaran (2002)
	15.9 mm	—	0.15	1.88	Kumaran (2002)
Plywood/wood panels.....	19.0 mm	—	0.19	1.88	Kumaran (2002)
Vegetable fiber board.....	650	—	0.11	1.88	Kumaran (2002)
sheathing, regular density.....	12.7 mm	—	0.23	1.30	Lewis (1967)
intermediate density.....	12.7 mm	—	0.19	1.30	Lewis (1967)
nail-based sheathing.....	12.7 mm	—	0.19	1.30	
shingle backer.....	9.5 mm	—	0.17	1.30	
sound deadening board.....	12.7 mm	—	0.24	1.26	
tile and lay-in panels, plain or acoustic	290	0.058	—	0.59	
laminated paperboard.....	480	0.072	—	1.38	Lewis (1967)
homogeneous board from repulped paper	480	0.072	—	1.17	
<i>Hardboard</i>					
medium density.....	800	0.105	—	1.30	Lewis (1967)
high density, service-tempered grade and service grade	880	0.12	—	1.34	Lewis (1967)
high density, standard-tempered grade.....	1010	0.144	—	1.34	Lewis (1967)
<i>Particleboard</i>					
low density.....	590	0.102	—	1.30	Lewis (1967)
medium density.....	800	0.135	—	1.30	Lewis (1967)
high density.....	1000	1.18	—	—	Lewis (1967)
underlayment.....	15.9 mm	—	1.22	1.21	Lewis (1967)
Waferboard.....	700	0.072	—	1.88	Kumaran (1996)
<i>Shingles</i>					
Asbestos/cement.....	1900	—	0.037	—	
Wood, 400 mm, 190 mm exposure.....	—	—	0.15	1.30	
Wood, double, 400 mm, 300 mm exposure.....	—	—	0.21	1.17	
Wood, plus ins. backer board.....	8 mm	—	0.25	1.30	
<i>Siding</i>					
Asbestos/cement, lapped.....	6.4 mm	—	0.037	1.01	
Asphalt roll siding.....	—	—	0.026	1.47	
Asphalt insulating siding (12.7 mm bed).....	—	—	0.26	1.47	
Hardboard siding.....	11 mm	—	—	0.12	1.17
Wood, drop, 200 mm.....	25 mm	—	0.14	1.17	
Wood, bevel.....	—	—	—	—	
200 mm, lapped.....	13 mm	—	0.14	1.17	
250 mm, lapped.....	19 mm	—	0.18	1.17	
Wood, plywood, lapped.....	9.5 mm	—	0.10	1.22	
Aluminum, steel, or vinyl, ^{b,1} over sheathing.....	—	—	—	—	
hollow-backed.....	—	—	0.11	1.22 ¹	
insulating-board-backed.....	9.5 mm	—	0.32	1.34	
foil-backed.....	9.5 mm	—	0.52	—	
Architectural (soda-lime float) glass.....	2500	1.0	—	0.84	
Building Membrane					
Vapor-permeable felt.....	—	—	0.011	—	
Vapor: seal, 2 layers of mopped 0.73 kg/m ² felt.....	—	—	0.21	—	
Vapor: seal, plastic film.....	—	—	Negligible	—	

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 26, Table 1)

Description	Density, kg/m ³	Conductivity ^a k, W/(m·K)	Resistance R, (m ² ·K)/W	Specific Heat, kJ/(kg·K)	Reference ¹
	770	0.22	—	—	Kumaran (1996)
<i>Concrete blocks^{c,d}</i>					
<i>Limestone aggregate</i>					
~200 mm, 16.3 kg, 2200 kg/m ³ concrete, 2 cores	—	—	—	—	—
with perlite-filled cores	—	—	0.37	—	Valore (1988)
~300 mm, 25 kg, 2200 kg/m ³ concrete, 2 cores	—	—	—	—	—
with perlite-filled cores	—	—	0.65	—	Valore (1988)
<i>Normal-weight aggregate (sand and gravel)</i>					
~200 mm, 16 kg, 2100 kg/m ³ concrete, 2 or 3 cores...	—	—	0.20 to 0.17	0.92	Van Geem (1985)
with perlite-filled cores	—	—	0.35	—	Van Geem (1985)
with vermiculite-filled cores	—	—	0.34 to 0.24	—	Valore (1988)
~300 mm, 22.7 kg, 2000 kg/m ³ concrete, 2 cores	—	—	0.217	0.92	Valore (1988)
<i>Medium-weight aggregate (combinations of normal and lightweight aggregate)</i>					
~200 mm, 13 kg, 1550 to 1800 kg/m ³ concrete, 2 or 3 cores	—	—	0.30 to 0.22	—	Van Geem (1985)
with perlite-filled cores	—	—	0.65 to 0.41	—	Van Geem (1985)
with vermiculite-filled cores	—	—	0.58	—	Van Geem (1985)
with molded-EPS-filled (beads) cores	—	—	0.56	—	Van Geem (1985)
with molded EPS inserts in cores	—	—	0.47	—	Van Geem (1985)
<i>Low-mass aggregate (expanded shale, clay, slate or slag, pumice)</i>					
~150 mm, 7 1/2 kg, 1400 kg/m ³ concrete, 2 or 3 cores	—	—	0.34 to 0.29	—	Van Geem (1985)
with perlite-filled cores	—	—	0.74	—	Van Geem (1985)
with vermiculite-filled cores	—	—	0.53	—	Van Geem (1985)
200 mm, 8 to 10 kg, 1150 to 1380 kg/m ³ concrete	—	—	0.56 to 0.33	0.88	Van Geem (1985)
with perlite-filled cores	—	—	1.20 to 0.77	—	Van Geem (1985)
with vermiculite-filled cores	—	—	0.93 to 0.69	—	Shu et al. (1979)
with molded-EPS-filled (beads) cores	—	—	0.85	—	Shu et al. (1979)
with UF foam-filled cores	—	—	0.79	—	Shu et al. (1979)
with molded EPS inserts in cores	—	—	0.62	—	Shu et al. (1979)
300 mm, 16 kg, 1400 kg/m ³ concrete, 2 or 3 cores ...	—	—	0.46 to 0.40	—	Van Geem (1985)
with perlite-filled cores	—	—	1.6 to 1.1	—	Van Geem (1985)
with vermiculite-filled cores	—	—	1.0	—	Valore (1988)
Stone, lime, or sand	2880	10.4	—	—	Valore (1988)
Quartzitic and sandstone	2560	6.2	—	—	Valore (1988)
	2240	3.46	—	—	Valore (1988)
	1920	1.88	—	0.88	Valore (1988)
Calcitic, dolomitic, limestone, marble, and granite	2880	4.33	—	—	Valore (1988)
	2560	3.17	—	—	Valore (1988)
	2240	2.31	—	—	Valore (1988)
	1920	1.59	—	0.88	Valore (1988)
	1600	1.15	—	—	Valore (1988)
<i>Gypsum partition tile</i>					
75 by 300 by 760 mm, solid	—	—	0.222	0.79	Rowley and Algren (1937)
4 cells	—	—	0.238	—	Rowley and Algren (1937)
100 by 300 by 760 mm, 3 cells	—	—	0.294	—	Rowley and Algren (1937)
Limestone	2400	0.57	—	0.84	Kumaran (2002)
	2600	0.93	—	0.84	Kumaran (2002)
<i>Concretes¹</i>					
Sand and gravel or stone aggregate concretes	2400	1.4 to 2.9	—	—	Valore (1988)
(concretes with >50% quartz or quartzite sand have	2240	1.3 to 2.6	—	0.80 to 1.00	Valore (1988)
conductivities in higher end of range)	2080	1.0 to 1.9	—	—	Valore (1988)
Low-mass aggregate or limestone concretes	1920	0.9 to 1.3	—	—	Valore (1988)
expanded shale, clay, or slate; expanded slags; cinders;	1600	0.68 to 0.89	—	0.84	Valore (1988)
pumice (with density up to 1600 kg/m ³); scoria	1280	0.48 to 0.59	—	0.84	Valore (1988)
(sanded	960	0.30 to 0.36	—	—	Valore (1988)
concretes have conductivities in higher end of range)	640	0.18	—	—	Valore (1988)
Gypsum/fiber concrete (87.5% gypsum, 12.5% wood chips)	800	0.24	—	0.84	Rowley and Algren (1937)
Cement/lime, mortar, and stucco	1920	1.40	—	—	Valore (1988)
	1600	0.97	—	—	Valore (1988)
	1280	0.65	—	—	Valore (1988)
Perlite, vermiculite, and polystyrene beads	800	0.26 to 0.27	—	—	Valore (1988)
	640	0.20 to 0.22	—	0.63 to 0.96	Valore (1988)
	480	0.16	—	—	Valore (1988)
	320	0.12	—	—	Valore (1988)

[Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 26, Table 1]

Description	Density, kg/m ³	Conductivity ^a k, W/(m·K)	Resistance R, (m ² ·K)/W	Specific Heat, kJ/(kg·K)	Reference ¹
Finish Flooring Materials					
Carpet and rebounded urethane pad..... 19 mm	110	—	0.42	—	NIST (2000)
Carpet and rubber pad (one-piece) 9.5 mm	320	—	0.12	—	NIST (2000)
Pile carpet with rubber pad 9.5 to 12.7 mm	290	—	0.28	—	NIST (2000)
Linoleum/cork tile..... 6.4 mm	465	—	0.09	—	NIST (2000)
PVC/rubber floor covering.....	—	0.40	—	—	CIBSE (2006)
rubber tile..... 25 mm	1900	—	0.06	—	NIST (2000)
terrazzo..... 25 mm	—	—	0.014	0.80	
Metals (See Chapter 33, Table 3)					
Roofing					
Asbestos/cement shingles.....	1920	—	0.037	1.00	
Asphalt (bitumen with inert fill)	1600	0.43	—	—	CIBSE (2006)
	1900	0.58	—	—	CIBSE (2006)
	2300	1.15	—	—	CIBSE (2006)
Asphalt roll roofing.....	920	—	0.027	1.51	
Asphalt shingles.....	920	—	0.078	1.26	
Built-up roofing..... 10 mm	920	—	0.059	1.47	
Mastic asphalt (heavy, 20% grit).....	950	0.19	—	—	CIBSE (2006)
Reed thatch.....	270	0.09	—	—	CIBSE (2006)
Roofing felt.....	2250	1.20	—	—	CIBSE (2006)
Slate..... 13 mm	—	—	0.009	1.26	
Straw thatch.....	240	0.07	—	—	CIBSE (2006)
Wood shingles, plain and plastic-film-faced.....	—	—	0.166	1.30	
Plastering Materials					
Cement plaster, sand aggregate.....	1860	0.72	—	0.84	
Sand aggregate..... 10 mm	—	—	0.013	0.84	
..... 20 mm	—	—	0.026	0.84	
Gypsum plaster.....	1120	0.38	—	—	CIBSE (2006)
	1280	0.46	—	—	CIBSE (2006)
Lightweight aggregate..... 13 mm	—	720	—	0.056	—
..... 16 mm	—	720	—	0.066	—
on metal lath..... 19 mm	—	—	0.083	—	—
Perlite aggregate.....	720	0.22	—	1.34	
Sand aggregate.....	1680	0.81	—	0.84	
on metal lath..... 19 mm	—	—	0.023	—	
Vermiculite aggregate.....	480	0.14	—	—	CIBSE (2006)
	600	0.20	—	—	CIBSE (2006)
	720	0.25	—	—	CIBSE (2006)
	840	0.26	—	—	CIBSE (2006)
	960	0.30	—	—	CIBSE (2006)
Perlite plaster.....	400	0.08	—	—	CIBSE (2006)
	600	0.19	—	—	CIBSE (2006)
Pulpboard or paper plaster.....	600	0.07	—	—	CIBSE (2006)
Sand/cement plaster, conditioned.....	1560	0.63	—	—	CIBSE (2006)
Sand/cement/lime plaster, conditioned.....	1440	0.48	—	—	CIBSE (2006)
Sand/gypsum (3:1) plaster, conditioned.....	1550	0.65	—	—	CIBSE (2006)
Masonry Materials					
<i>Masonry units</i>					
Brick, fired clay.....	2400	1.21 to 1.47	—	—	Valore (1988)
	2240	1.07 to 1.30	—	—	Valore (1988)
	2080	0.92 to 1.12	—	—	Valore (1988)
	1920	0.81 to 0.98	—	0.80	Valore (1988)
	1760	0.71 to 0.85	—	—	Valore (1988)
	1600	0.61 to 0.74	—	—	Valore (1988)
	1440	0.52 to 0.62	—	—	Valore (1988)
	1280	0.43 to 0.53	—	—	Valore (1988)
	1120	0.36 to 0.45	—	—	Valore (1988)
Clay tile, hollow					
1 cell deep..... 75 mm	—	—	0.14	0.88	Rowley and Algren (1937)
..... 100 mm	—	—	0.20	—	Rowley and Algren (1937)
2 cells deep..... 150 mm	—	—	0.27	—	Rowley and Algren (1937)
..... 200 mm	—	—	0.33	—	Rowley and Algren (1937)
..... 250 mm	—	—	0.39	—	Rowley and Algren (1937)
3 cells deep..... 300 mm	—	—	0.44	—	Rowley and Algren (1937)
Lightweight brick.....	800	0.20	—	—	Kumaran (1996)

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 26, Table 3)

Description	Density, kg/m ³	Conductivity ^a k , W/(m·K)	Resistance R , (m ² ·K)/W	Specific Heat, kJ/(kg·K)	Reference ¹
Foam concretes	1920	0.75	—	—	Valore (1988)
	1600	0.60	—	—	Valore (1988)
	1280	0.44	—	—	Valore (1988)
	1120	0.36	—	—	Valore (1988)
Foam concretes and cellular concretes	960	0.30	—	—	Valore (1988)
	640	0.20	—	—	Valore (1988)
	320	0.12	—	—	Valore (1988)
Aerated concrete (oven-dried)	430 to 800	0.20	—	0.84	Kumaran (1996)
Polystyrene concrete (oven-dried)	255 to 800	0.37	—	0.84	Kumaran (1996)
Polymer concrete	1950	1.64	—	—	Kumaran (1996)
	2200	1.03	—	—	Kumaran (1996)
Polymer cement	1870	0.78	—	—	Kumaran (1996)
Slag concrete	960	0.22	—	—	Touloukian et al. (1970)
	1280	0.32	—	—	Touloukian et al. (1970)
	1600	0.43	—	—	Touloukian et al. (1970)
	2000	1.23	—	—	Touloukian et al. (1970)
Woods (12% moisture content)^b					
<i>Hardwoods</i>				1.63 ^k	Wilkes (1979)
Oak	660 to 750	0.16 to 0.18	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Birch	680 to 725	0.17 to 0.18	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Maple	635 to 700	0.16 to 0.17	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Ash	615 to 670	0.15 to 0.16	—	—	Cardenas and Bible (1987)
<i>Softwoods</i>				1.63 ^k	Wilkes (1979)
Southern pine	570 to 660	0.14 to 0.16	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Southern yellow pine	500	0.13	—	—	Kumaran (2002)
Eastern white pine	400	0.10	—	—	Kumaran (2002)
Douglas fir/larch	535 to 580	0.14 to 0.15	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Southern cypress	500 to 515	0.13	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Hem/fir, spruce/pine/fir	390 to 500	0.11 to 0.13	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Spruce	400	0.09	—	—	Kumaran (2002)
Western red cedar	350	0.09	—	—	Kumaran (2002)
West coast woods, cedars	350 to 500	0.10 to 0.13	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Eastern white cedar	360	0.10	—	—	Kumaran (2002)
California redwood	390 to 450	0.11 to 0.12	—	—	Cardenas and Bible (1987)
Pine (oven-dried)	370	0.092	—	1.88	Kumaran (1996)
Spruce (oven-dried)	395	0.10	—	1.88	Kumaran (1996)

Figura 14. Propiedades térmicas típicas de Materiales Aislantes y de Construcción Comunes, tomado de (ASHRAE b, 2013).

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 26, Table 10)

		Surface Emittance, ϵ					
Position of Surface	Direction of Heat Flow	Nonreflective $\epsilon = 0.90$		Reflective			
				$\epsilon = 0.20$		$\epsilon = 0.05$	
		h_i	R_i	h_i	R_i	h_i	R_i
Indoor							
Horizontal	Upward	9.26	0.11	5.17	0.19	4.32	0.23
Sloping at 45°	Upward	9.09	0.11	5.00	0.20	4.15	0.24
Vertical	Horizontal	8.29	0.12	4.20	0.24	3.35	0.30
Sloping at 45°	Downward	7.50	0.13	3.41	0.29	2.56	0.39
Horizontal	Downward	6.13	0.16	2.10	0.48	1.25	0.80
Outdoor (any position)		h_o	R_o				
Wind (for winter) at 6.7 m/s	Any	34.0	0.030	—	—	—	—
Wind (for summer) at 3.4 m/s	Any	22.7	0.044	—	—	—	—

Notes:

1. Surface conductance h_i and h_o measured in $W/(m^2 \cdot K)$; resistance R_i and R_o in $(m^2 \cdot K)/W$.
2. No surface has both an air space resistance value and a surface resistance value.
3. Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at same temperature as ambient air. Values based on surface/air temperature difference of 5.6 K and surface temperatures of 21°C.
4. See Chapter 4 for more detailed information.
5. Condensate can have significant effect on surface emittance (see Table 2). Also, oxidation, corrosion, and accumulation of dust and dirt can dramatically increase surface emittance. Emittance values of 0.05 should only be used where highly reflective surface can be maintained over the service life of the assembly.

Figura 15. Coeficientes / Resistencias de la película superficial, tomado de (ASHRAE b, 2013) .

La carga térmica de transmisión de calor a través de las paredes, techos y puertas se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 17

$$Q_s = U_p (T_o - T_e)$$

Donde

Q_s = es el calor de la superficie [W]

U = es el coeficiente de transferencia global [$W/(m^2 * K)$]. Para las puertas se tienen en cuenta diferentes valores para U de acuerdo con el tipo de puerta (véase en las Figura 16, Figura 17, Figura 18 Figura 19)

Table 3.5a Design U-Factors of Swinging Doors in $W/(m^2 \cdot K)$

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013] Chapter 15, Table 6)

Door Type (Rough Opening = 970 × 2080 mm)	No Glazing	Single Glazing	Double	Double
			Glazing with 12.7 mm Air Space	Glazing with $e = 0.10$, 12.7 mm Argon
<i>Slab Doors</i>				
Wood slab in wood frame ^a	2.61			
6% glazing (560 × 200 lite)	—	2.73	2.61	2.50
25% glazing (560 × 910 lite)	—	3.29	2.61	2.38
45% glazing (560 × 1620 lite)	—	3.92	2.61	2.21
More than 50% glazing		Use Table 4 (operable)		
Insulated steel slab with wood edge in wood frame ^b	0.91			
6% glazing (560 × 200 lite)	—	1.19	1.08	1.02
25% glazing (560 × 910 lite)	—	2.21	1.48	1.31
45% glazing (560 × 1630 lite)	—	3.29	1.99	1.48
More than 50% glazing		Use Table 4 (operable)		
Foam-insulated steel slab with metal edge in steel frame ^c	2.10			
6% glazing (560 × 200 lite)	—	2.50	2.33	2.21
25% glazing (560 × 910 lite)	—	3.12	2.73	2.50
45% glazing (560 × 1630 lite)	—	4.03	3.18	2.73
More than 50% glazing		Use Table 4 (operable)		
Cardboard honeycomb slab with metal edge in steel frame	3.46			
<i>Stile-and-Rail Doors</i>				
Sliding glass doors/French doors		Use Table 4 (operable)		
<i>Site-Assembled Stile-and-Rail Doors</i>				
Aluminum in aluminum frame	—	7.49	5.28	4.49
Aluminum in aluminum frame with thermal break	—	6.42	4.20	3.58

Notes:

^aThermally broken sill [add 0.17 $W/(m^2 \cdot K)$ for nonthermally broken sill]

^bNonthermally broken sill

^cNominal U-factors are through center of insulated panel before consideration of thermal bridges around edges of door sections and because of frame.

Figura 16. Factores U de Diseño de puertas batientes en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 15, Table 7)

Type	Size (Width × Height)	U-Factor
3-wing	2.44 × 2.13 m	4.46
	3.28 × 2.44 m	4.53
4-wing	2.13 × 1.98 m	3.56
	2.13 × 2.29 m	3.63
Open*	2.08 × 2.13 m	7.49

*U-factor of Open door determined using NFRC *Technical Document* 100-91. It has not been updated to current rating methodology in NFRC *Technical Document* 100-2010.

Figura 17. Factores U de Diseño de puertas giratorias en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 15, Table 8)

Core Insulation		Rough Opening Size	
Thickness, mm	Type	0.9 × 2 m	1.8 × 2 m
35*	Honeycomb kraft paper	3.23	2.97
	Mineral wool, steel ribs	2.50	2.05
	Polyurethane foam	1.92	1.60
44*	Honeycomb kraft paper	3.25	3.06
	Mineral wool, steel ribs	2.30	1.90
	Polyurethane foam	1.77	1.50
35	Honeycomb kraft paper	3.38	3.11
	Mineral wool, steel ribs	2.67	2.21
	Polyurethane foam	2.10	1.77
44	Honeycomb kraft paper	3.38	3.22
	Mineral wool, steel ribs	2.47	2.08
	Polyurethane foam	1.95	1.69

*With thermal break

Figura 18. Factores U de Diseño para puertas de salida de emergencia de acero de doble pared en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 15, Table 9)

Insulation		One-Piece Tilt-Up ^a		Sectional Tilt-Up ^b	Aircraft Hangar	
Thickness, mm	Type	2.44 × 2.1 m	4.9 × 2.1 m	2.74 × 2.1 m	22 × 3.7 m ^c	73 × 15.2 m ^d
35	Extruded polystyrene, steel ribs	2.03	1.90	1.94 to 2.19		
	Expanded polystyrene, steel ribs	1.90	1.74	1.76 to 2.05		
50	Extruded polystyrene, steel ribs	1.74	1.58	1.66 to 1.87		
	Expanded polystyrene, steel ribs	1.62	1.46	1.53 to 1.77		
76	Extruded polystyrene, steel ribs	1.46	1.29	1.43 to 1.60		
	Expanded polystyrene, steel ribs	1.37	1.21	1.34 to 1.52		
102	Extruded polystyrene, steel ribs	1.29	1.13	1.29 to 1.43		
	Expanded polystyrene, steel ribs	1.22	1.06	1.22 to 1.36		
	Extruded polystyrene, steel ribs	1.11	0.93	1.13 to 1.22		
	Expanded polystyrene, steel ribs	1.06	0.88	1.08 to 1.17		
89	Expanded polystyrene				1.40	0.91
	Mineral wool, steel ribs				1.45	0.92
	Extruded polystyrene				1.32	0.83
140	Expanded polystyrene				1.18	0.72
	Mineral wool, steel ribs				1.28	0.73
	Extruded polystyrene				1.14	0.67
—	Uninsulated	6.53 ^e			6.27	7.00

Notes:

^aValues are for both thermally broken and thermally unbroken doors.

^bLower values are for thermally broken doors; higher values are for doors with no thermal break.

^cTypical size for a small private airplane (single or twin engine.)

^dTypical hangar door for a mid-sized commercial jet airliner.

^eU-factor determined using NFRC Technical Document 100-91. Not updated to current rating methodology in NFRC Technical Document 100-2010. U-factor determined for 3.05 × 3.05 m sectional door, but is representative of similar products of different size.

Figura 19. Factores U de Diseño para puertas de garaje y hangar de aeronaves de acero dobles en $W/(m^2K)$, tomado de (ASHRAE b, 2013).

A_p = es el área de la superficie [m^2]

T_o = es la temperatura externa [$^{\circ}C$]

T_i = es la temperatura interna [$^{\circ}C$]

Una vez recopilados estos datos, se procede a determinar la carga de calor sensible en la Ecuación 18. Esta carga representa la cantidad de calor que debe ser extraída

del espacio para mantener una temperatura deseada, considerando las diferencias de temperatura entre el área a enfriar y el entorno externo, así como las fuentes internas y externas de calor (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

$$Q = Q + Q + Q + Q + Q$$

Ecuación 18

Donde:

Q = es la carga térmica debida a la transmisión de calor a través de las paredes, techos y pisos.

Q = es la carga térmica debida a la ventilación.

Q = es la carga térmica debida a las puertas de la cámara.

Q = es la carga térmica debida a la carga y descarga de productos.

Q = es la carga térmica debida a las fuentes de calor internas como iluminación y equipos.

Además de la carga de calor sensible, se calcula la carga de calor latente de acuerdo con la Ecuación 19, que está asociada al proceso de condensación de la humedad presente en el aire. Esta carga depende de la cantidad de humedad en el ambiente y la tasa de ventilación (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

$$Q = Q + Q_{hu}$$

Ecuación 19

Donde:

Q = es la carga térmica debida a la evaporación del líquido refrigerante en el evaporador.

Q_{hu} = es la carga térmica debida a la humedad presente en la cámara.

Después de calcular las cargas de calor sensible y latente, así como las cargas adicionales, se realiza la suma de todas ellas para obtener la carga térmica total del sistema de refrigeración.

Finalmente, con base en estas cargas térmicas calculadas, se procede a seleccionar el equipo de refrigeración adecuado. Es necesario considerar la capacidad de enfriamiento requerida para cumplir con los requisitos de refrigeración establecidos.

Este proceso de cálculo de cargas térmicas garantiza un diseño preciso y eficiente del sistema de refrigeración, permitiendo una operación óptima y cumpliendo con los estándares de enfriamiento necesarios.

7.2.1.4 Selección del sistema de refrigeración

A partir del cálculo de la carga térmica, es necesario seleccionar el sistema de refrigeración adecuado para la cámara frigorífica. Existen dos opciones principales: los equipos de refrigeración compactos y los sistemas de refrigeración partido o semi-compactos (Moreno, 2000).

Los equipos de refrigeración compactos, también conocidos como monoblocks, son sistemas integrados que incluyen el motor y la salida de aire en una sola carcasa (solocamarasfrigorificas, 2018). Dependiendo del modelo, se pueden colocar en tres ubicaciones diferentes. Estas son sus ventajas y desventajas:

Monoblock de pared: Se instalan directamente en la pared, pudiendo elegir la ubicación según las necesidades, ver en la Figura 20. Por lo general, se colocan en el frontal de la cámara y cerca de la puerta. Algunos modelos incluso pueden funcionar con control remoto.

Figura 20. Monoblock de pared.



Nota: tomado de solocamarasfrigorificas (solocamarasfrigorificas, 2018)

Monoblock de techo: Se sitúan en el techo de la cámara y también pueden funcionar con control remoto. Requieren un espacio mínimo de 50 a 100 cm entre la cámara y el techo del local, dependiendo del modelo, ver en la Figura 21.

Figura 21. Monoblock de techo.



Nota: tomado de solocamarasfrigorificas (solocamarasfrigorificas, 2018)

Monoblock de puerta: Se instalan justo encima de la puerta. En algunos casos, se puede utilizar una cortina de aire para evitar la pérdida de temperatura en las entradas y salidas de la cámara, ver en la Figura 22.

Figura 22. Monoblock de puerta.



Nota: tomado de solocamarasfrigorificas (solocamarasfrigorificas, 2018)

Estos sistemas son económicos y fáciles de instalar, ya que no requieren conductos. Solo se necesita realizar un agujero en la cámara según las indicaciones del manual, insertar el monoblock y conectarlo para ponerlo en funcionamiento. Sin embargo, es importante asegurarse de que el local cuente con una buena ventilación, ya que el aire caliente se expulsa en el mismo lugar. En caso de no

disponer de una ventilación adecuada, existen versiones centrífugas que expulsan el aire fuera del local a través de tuberías.

Por otro lado, los sistemas de refrigeración partido o semi-compactos consisten en una unidad condensadora (motor) y una unidad evaporadora de bajo perfil (Split o salida de aire). La instalación de estos sistemas es más compleja, ya que requiere la colocación de conductos desde el condensador hasta el Split. A continuación, se describen los tipos de sistemas dentro de esta categoría:

Equipos de refrigeración estándar: Estos sistemas logran una homogeneización de la temperatura dentro de la cámara mediante un potente sistema de ventilación, ver en la Figura 23. Sin embargo, pueden generar un ambiente con baja humedad.

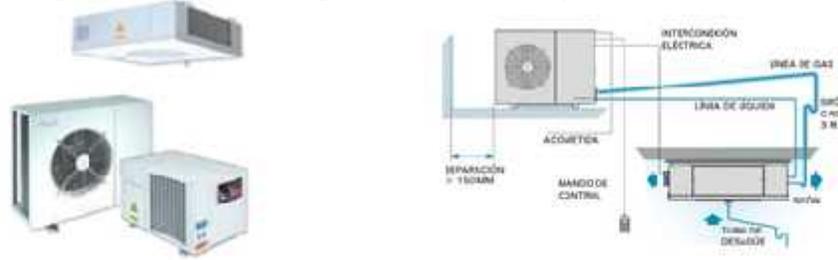
Figura 23. Equipos de refrigeración estándar.



Nota: tomado de solocamarasfrigorificas (solocamarasfrigorificas, 2018)

Equipos de refrigeración semi-estático: Este tipo de sistema tiene una potencia de ventilación menor, lo que ayuda a conservar la humedad y evita la deshidratación de productos como la carne. Son ideales para cámaras frigoríficas en carnicerías, ver en la Figura 24.

Figura 24. Equipos de refrigeración semi-estático y de alta humedad.

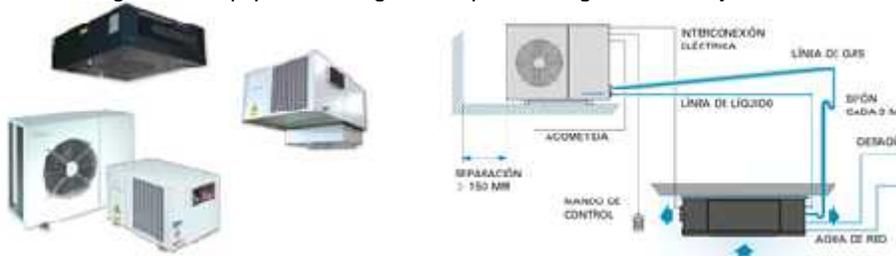


Nota: tomado de solocamarasfrigorificas (solocamarasfrigorificas, 2018)

Equipos de refrigeración alta humedad: Estos sistemas permiten mantener una humedad elevada dentro de la cámara, preservando la frescura de productos como frutas, verduras, flores y plantas. Pueden alcanzar un rango de humedad de 65-95% y están especialmente diseñados para negocios como floristerías, fruterías y verdulerías, ver en la Figura 24

Equipos de refrigeración para bodegas de vinos y cavas: Estos sistemas están diseñados específicamente para la correcta conservación del vino y el cava, teniendo en cuenta la influencia del corcho, las botellas y la humedad, ver en la Figura 25.

Figura 25. Equipos de refrigeración para bodegas de vinos y cavas.



Nota: tomado de solocamarasfrigorificas (solocamarasfrigorificas, 2018)

La elección entre estos sistemas dependerá de las necesidades específicas de la cámara frigorífica y los productos almacenados.

7.2.1.5 Aislamiento térmico

Encontrar el aislamiento térmico adecuado para una cámara frigorífica es fundamental para asegurar que la transferencia de calor sea mínima, lo que resulta

en una conservación eficiente de la temperatura en su interior. Un adecuado aislamiento ayuda a reducir las pérdidas de calor y a mantener un ambiente frío constante, lo que se traduce en un menor consumo de energía y una mayor vida útil de los sistemas de refrigeración (Moreno, 2000).

El proceso de determinar el aislamiento térmico de una cámara frigorífica implica los siguientes pasos (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022):

Evaluación de las necesidades: Comienza por evaluar las necesidades específicas de la cámara frigorífica. Considera el rango de temperatura requerido, el tamaño de la cámara, la cantidad de carga térmica esperada (producida por la entrada y salida de productos) y la ubicación de la cámara (interior o exterior).

Selección del material aislante: Basado en las necesidades identificadas, elige el material aislante más adecuado. Existen varios materiales comunes utilizados en la industria, como poliestireno extruido (XPS), poliuretano (PUR), polisocianurato (PIR) y lana de roca. Cada material tiene diferentes propiedades de aislamiento térmico, resistencia a la humedad y facilidad de instalación.

Cálculo del espesor del aislamiento: En ocasiones, la selección del espesor de un material de aislamiento térmico se basa en consideraciones técnicas, pero es importante tener en cuenta que estas decisiones también tienen implicaciones económicas. Por lo tanto, es necesario incorporar criterios económicos al elegir el aislamiento adecuado, especialmente al determinar el espesor óptimo del material. De esta manera, se busca encontrar un equilibrio entre el rendimiento térmico deseado y los costos asociados, garantizando una solución eficiente tanto desde el punto de vista técnico como económico (CONUEE, PYME, SENER., 2008).

Según Isover, Huang y Zhang; (Isover, 2004a; Huang & Zhang, 2014) las pérdidas de energía disminuyen con el aumento del espesor de aislamiento. De esta manera para determinar el espesor óptimo de aislamiento se utiliza la fórmula de conducción térmica de Fourier (Ecuación 20). Esta fórmula tiene en cuenta factores como la

conductividad térmica del material, el área de transferencia de calor y la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la cámara. El objetivo es minimizar la transferencia de calor a través del aislamiento.

Ecuación 20

$$Q = (k * A * \Delta) / L$$

Donde:

Q = representa la cantidad de calor transferido (en vatios o julios por segundo)

k = es la conductividad térmica del material aislante (en vatios por metro kelvin o julios por segundo metro kelvin)

A = es el área de transferencia de calor (en metros cuadrados)

Δ = es la diferencia de temperatura entre los dos puntos en los que se produce la transferencia de calor (en grados Celsius o Kelvin)

L = es el espesor del material aislante (en metros)

Una vez se tiene el cálculo del espesor de aislamiento, se deben considerar varios factores para determinar si es el espesor adecuado. En primer lugar, se debe verificar si el espesor calculado cumple con los requisitos de aislamiento establecidos por normas o estándares aplicables. Además, es importante asegurarse de que el material de aislamiento seleccionado tenga las propiedades necesarias para proporcionar el nivel de aislamiento requerido. Según Castellanos (Castellanos, 2012), la

Figura 26 muestra el valor de conductividad térmica o el coeficiente de transferencia de calor $k = W/(m \cdot K)$ de los materiales más utilizados en el aislamiento de cuartos fríos. Conforme aumenta el valor de coeficiente k , aumenta la capacidad de conducción de calor del material (Medina, 2020).

Figura 26. Conductividad térmica de aislantes para cuartos fríos

Aislante	Conductividad térmica <i>k</i>, W/(m•K)
Tablero de poliuretano (R-11 expandido)	0.023 a 0.026
Polisocianuretano, celular (R-141b expandido)	0.027
Poliestireno, extruido (R-142b)	0.035
Poliestireno, expandido (R-142b)	0.037
Tablero de corcho	0.043
Fibra de vidrio	0.044

Nota: Tomado de Guía técnica para el diseño de cuartos fríos (Castellanos, 2012).

Otros aspectos prácticos, como el espacio disponible y los costos de instalación, también deben tenerse en cuenta. Además, es esencial considerar las condiciones ambientales y de servicio a las que estará expuesto el sistema, así como realizar un análisis de costos y beneficios.

Consideraciones adicionales: hay que tener en cuenta otros aspectos importantes del aislamiento, como la hermeticidad de las juntas y la calidad de la instalación. Las fugas de aire pueden comprometer la eficiencia del aislamiento, por lo que es esencial asegurar una instalación adecuada y sellar cualquier posible punto de entrada de aire.

Verificación y ajuste: Una vez instalado el aislamiento, es recomendable realizar pruebas para verificar su efectividad. Estas pruebas pueden incluir la medición de la conductividad térmica del aislamiento, la detección de posibles fugas de aire y la evaluación del rendimiento térmico general de la cámara frigorífica.

De esta manera, se podrá lograr una transferencia de calor mínima y mantener condiciones ideales de temperatura en el interior.

7.2.1.6 Dimensionamiento de puertas

El dimensionamiento de las puertas de una cámara frigorífica se realiza considerando los requisitos específicos de apertura y cierre, así como las necesidades de hermeticidad y aislamiento térmico. Es importante tener en cuenta criterios como la superficie de la puerta, el tipo de aislamiento utilizado y los sistemas de sellado empleados (Moreno, 2000).

En el proceso de dimensionamiento, se pueden seguir los siguientes pasos (Moreno, 2000) (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022):

Paso 1: Determinar las dimensiones requeridas: Se calcula el ancho y la altura necesarios para permitir un acceso adecuado a la cámara frigorífica, considerando el tamaño de los objetos que se manipularán y los equipos utilizados para ello.

Paso 2: Definir el tipo de puerta: Se elige el tipo de puerta más apropiado para la aplicación, considerando aspectos como la facilidad de acceso, el espacio disponible y los requisitos de sellado hermético.

En la industria existen varios tipos, pero en general están las pivotantes, correderas y verticales como se puede apreciar en la

Tabla 4

Tabla 4. Tipos de puertas		
PUERTA	DESCRIPCIÓN	FIGURA
PIVOTANTES FRIGORÍFICAS	Puertas herméticas pivotantes para refrigeración industrial y comercial.	

PUERTA	DESCRIPCIÓN	FIGURA
<p>CORREDERAS FRIGORÍFICAS</p>	<p>Puertas herméticas correderas para refrigeración industrial y comercial.</p>	
<p>VERTICALES FRIGORÍFICAS</p>	<p>Puertas herméticas verticales para refrigeración industrial y comercial.</p>	

Nota: tomado de Tané hermetic (Tané hermetic, 2019).

Paso 3: Calcular el área de la puerta: Se multiplica el ancho por la altura de la puerta para obtener el área total de la superficie en metros cuadrados. Esto permite estimar la carga térmica que se transferirá a través de la puerta.

Paso 4: Calcular la carga térmica de la puerta: Se utiliza la fórmula $Q = U * A * T$, donde Q representa la cantidad de calor transferido a través de la puerta (en vatios o julios por segundo), U es el coeficiente de transferencia de calor (en vatios por metro cuadrado kelvin o julios por segundo metro cuadrado kelvin) y T es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la cámara frigorífica (en grados Celsius o kelvin).

Paso 5: Determinar el coeficiente de transferencia de calor (U): El coeficiente de transferencia de calor depende del tipo de puerta seleccionado. Se pueden consultar las especificaciones técnicas del fabricante de la puerta o utilizar valores de referencia estándar para obtener un valor adecuado.

Paso 6: Calcular la carga térmica total de todas las puertas: Si la cámara frigorífica tiene múltiples puertas, se suman las cargas térmicas individuales de cada puerta para obtener la carga térmica total generada por todas ellas.

Paso 7: Evaluar los resultados: Se compara la carga térmica de las puertas con la capacidad de enfriamiento del sistema de refrigeración de la cámara frigorífica. Es fundamental asegurarse de que el sistema de refrigeración pueda compensar la carga térmica generada por las puertas para mantener las condiciones de temperatura deseadas en el interior de la cámara.

Es importante recordar que este proceso es una guía general, y se recomienda las especificaciones del fabricante para garantizar un dimensionamiento preciso y adecuado del aislamiento térmico de las puertas de la cámara frigorífica.

7.2.1.7 Circulación de aire

El dimensionamiento de la circulación de aire dentro de una cámara frigorífica es esencial para garantizar una temperatura uniforme en todo el espacio de almacenamiento. Este proceso implica calcular la capacidad necesaria y establecer una distribución adecuada del flujo de aire.

Para comenzar, se identifican los puntos clave de entrada y salida de aire en la cámara. Esto incluye la ubicación estratégica de los ventiladores, que se encargan de impulsar el aire a través del sistema de refrigeración. Además, se instalan rejillas de entrada y salida de aire para permitir la correcta circulación y distribución del flujo (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

Un aspecto crucial del dimensionamiento es determinar la velocidad del flujo de aire. Esta velocidad se selecciona en función del tipo de producto almacenado y los requisitos de conservación. Por ejemplo, algunos productos sensibles al frío pueden requerir una velocidad más baja para evitar la deshidratación o el deterioro, mientras

que otros productos pueden tolerar una velocidad más alta (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

Durante el proceso de dimensionamiento, se consideran factores como el tamaño y la geometría de la cámara frigorífica, la ubicación de las estanterías o racks de almacenamiento, y la distribución de la carga térmica generada por los productos almacenados (Moreno, 2000).

Es importante tener en cuenta que la circulación de aire adecuada no solo garantiza una temperatura uniforme, sino que también contribuye a la eficiencia energética del sistema de refrigeración. Un flujo de aire bien diseñado minimiza las zonas de estancamiento y asegura que el aire frío llegue a todos los rincones de la cámara, optimizando así la conservación de la temperatura y reduciendo la carga de trabajo del equipo de refrigeración (Moreno, 2000).

En resumen, el dimensionamiento de la circulación de aire en una cámara frigorífica implica calcular la capacidad necesaria, determinar la ubicación de los ventiladores y las rejillas de aire, así como establecer la velocidad adecuada del flujo. Esto asegura una temperatura uniforme en toda el área de almacenamiento, proporcionando las condiciones óptimas para la conservación de los productos y la eficiencia energética del sistema de refrigeración.

7.2.1.8 Control de temperatura

Se consideran criterios de control de temperatura, como la selección y ubicación de los sensores de temperatura, termostatos y controladores electrónicos. Se busca mantener la temperatura dentro de los rangos deseados y evitar fluctuaciones significativas (Moreno, 2000).

En primer lugar, se eligen sensores de temperatura confiables y precisos que monitorean constantemente la temperatura dentro de la cámara. Estos sensores pueden ser termistores, termopares u otros dispositivos de medición de temperatura. La ubicación estratégica de los sensores es crucial para garantizar una

lectura precisa y representativa de la temperatura en diferentes puntos de la cámara frigorífica (Progues Plus, 2023).

Además, se instalan termostatos y controladores electrónicos para regular el funcionamiento del sistema de refrigeración y mantener la temperatura en el rango deseado. Estos dispositivos permiten configurar los límites de temperatura y establecer parámetros de control para el funcionamiento del equipo de refrigeración (Progues Plus, 2023).

Es fundamental considerar la ubicación estratégica de los sensores de temperatura para obtener mediciones representativas. Se colocan en áreas clave de la cámara, como cerca de la puerta, en el punto de retorno del aire o en lugares donde la temperatura puede variar significativamente. Esto permite al sistema de control detectar y corregir rápidamente cualquier desviación de la temperatura establecida (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

El objetivo del dimensionamiento del control de temperatura es asegurar que la temperatura dentro de la cámara frigorífica se mantenga dentro de los límites deseados, proporcionando un entorno óptimo para la conservación de los productos almacenados. Además, un control preciso y estable ayuda a prevenir fluctuaciones significativas que podrían afectar la calidad y vida útil de los productos.

7.2.2 Normativa

Las normativas son elementos fundamentales en el diseño y funcionamiento de cámaras frigoríficas, ya que establecen estándares y requisitos que garantizan la eficiencia y seguridad de estos sistemas. Entre las normas más relevantes en este campo se encuentran:

Norma ISO 3951-1: Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, la construcción y el funcionamiento de cámaras frigoríficas. Aborda aspectos como

el aislamiento térmico, el sistema de refrigeración, la ventilación, las puertas, la iluminación y los sistemas de control (ISO, 2023).

Norma ISO 23953: Esta norma proporciona directrices específicas para el diseño y la instalación de cámaras frigoríficas utilizadas en la conservación de alimentos congelados. Cubre aspectos como el aislamiento térmico, la capacidad de enfriamiento, las puertas, los sistemas de control y la seguridad (ISO, 2023) .

Norma ASHRAE 62.1: Emitida por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), esta norma se centra en los requisitos de ventilación y calidad del aire en los edificios. Proporciona pautas para la ventilación adecuada en cámaras frigoríficas, incluyendo el flujo de aire, los sistemas de filtración y la eliminación de contaminantes (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 2022).

Normas HACCP: El sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP) es una metodología utilizada en la industria alimentaria para garantizar la seguridad alimentaria. Las cámaras frigoríficas utilizadas en el almacenamiento de alimentos deben cumplir con los principios del HACCP, que incluyen requisitos de temperatura, limpieza, desinfección y control de plagas (Winterhalter, 2021).

7.3 Ejemplo de diseño

El dimensionamiento de una cámara de conservación implica definir sus dimensiones básicas, como la longitud, el ancho y la altura, así como otros parámetros relacionados con la capacidad de almacenamiento y el flujo de aire. Un ejemplo de dimensionamiento para una cámara de conservación que cumpla con los siguientes requisitos:

Requisitos y parámetros:

Rango de temperatura: 2 - 5 °C (35.6 - 41 °F)

Tiempo de conservación: 7 días

Producto por almacenar: Producto perecedero

Sistema de refrigeración: Compresión de refrigeración

Paso 1: Cálculo de la Carga Térmica

-) Carga por Enfriamiento del Producto: Utilizamos la Ecuación 10 para calcular el calor liberado al enfriar el producto hasta su punto de congelación.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta$$

Donde:

Q es la cantidad de calor en BTU

m es la masa del producto en libras

c es el calor específico del producto en BTU/lb·°F

Δ es el cambio en la temperatura del producto en °F

-) Carga durante la Solidificación: Aplicamos la Ecuación 11 para calcular la energía liberada durante la congelación del producto.

$$Q = m \cdot h_{f_i}$$

Donde:

m es la masa del producto en libras

h_{f_i} es el calor latente de congelación del producto en BTU/lb

-) Carga por Alcanzar la Temperatura de Almacenamiento: Volvemos a utilizar la Ecuación 10 para calcular el calor liberado mientras el producto se enfría a la temperatura final de almacenamiento después de la congelación.

-) Cargas Térmicas Adicionales: Aquí sumamos las cargas generadas por la iluminación, equipos y personal. Las ecuaciones específicas para cada una

de estas fuentes de carga no se han proporcionado en tu texto inicial, pero generalmente implican conocer la potencia de las luces, la eficiencia de los equipos y el número y actividad de las personas presentes.

Para un ejercicio hipotético, se puede suponer las siguientes condiciones:

$$M \text{ de } p : 1000 \text{ lb}$$

$$C \text{ e. íf } d p : 0.9 \text{ B } / \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{e. in } d p} : 50 ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{e. d c. ón } d p \text{ uci}} : 32 ^\circ\text{F}$$

$$C \text{ l. d c. ón} : 14.4 \text{ B } / \text{lb}$$

$$T_{\text{e. f } d \text{ al}} : 5 ^\circ\text{F} \text{ (ti l. c. ón)}$$

Cálculos:

) Calor liberado al enfriarse al punto de congelación:

$$Q_{\text{e.}} = 1000 \cdot 0.9 \cdot (50 - 32) = 1000 \cdot 0.9 \cdot 18 = 16200 \text{ B}$$

) Calor liberado durante la solidificación:

$$Q_{\text{s. ón}} = 1000 \cdot 14.4 = 14400 \text{ B}$$

) Calor liberado al alcanzar la temperatura de almacenamiento (asumiendo que el calor específico en estado congelado es 0.5 BTU/lb·°F):

$$Q_{\text{al}} = 1000 \cdot 0.5 \cdot (32 - 5) = 1000 \cdot 0.5 \cdot 27 = 13500 \text{ B}$$

) Cargas Térmicas Adicionales (luces, motore, etc.):

$$Q = S \cdot q = 2000 \text{ B/h}$$

La carga térmica total por hora se obtendría sumando las cargas calculadas y dividirlo por el número de horas en las que el calor se elimina. Si este ciclo es continuo, entonces simplemente sumamos las cargas:

$$Q_{\text{ti}} = Q_{\text{e}} + Q_{\text{s}} + Q_{\text{al}} + Q_{\text{a}}$$

$$Q = 16200 + 14400 + 13500 + 2000 = 46100 \text{ B}$$

Paso 2: Dimensiones básicas:

Para dimensionar la cámara, se considera un espacio rectangular. La longitud de la cámara será de 4 metros, el ancho de 3 metros y la altura de 2.5 metros.

Dimensiones Proporcionadas:

) Longitud: 4 metros

) Ancho: 3 metros

) Altura: 2.5 metros

Cálculo del Volumen:

Para obtener el volumen V de la cámara frigorífica, se aplica la fórmula para el volumen de un paralelepípedo recto (en este caso, un espacio rectangular), que es simplemente el producto de su longitud, ancho y altura:

$$V = L \times A \times h$$

Sustituyendo los valores proporcionados:

$$V = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} = 30 \text{ m}^3$$

Entonces, el volumen de la cámara frigorífica es de 30 metros cúbicos.

Este volumen es importante porque se utilizará para determinar la capacidad de almacenamiento, así como para calcular las necesidades de refrigeración, dado que una mayor cantidad de aire requerirá una capacidad de refrigeración más grande para mantener la temperatura deseada dentro de los parámetros establecidos. Además, este volumen impactará en el diseño de la circulación de aire, asegurando que la distribución de la temperatura sea uniforme en toda la cámara.

Paso 3: Capacidad de almacenamiento:

El Paso 3 se refiere al cálculo de la capacidad de almacenamiento efectiva de la cámara frigorífica. Esta capacidad es menor que el volumen total de la cámara debido a la necesidad de espacio libre para permitir una circulación adecuada de aire, así como el espacio ocupado por los estantes y el equipo de refrigeración.

Se asume que solo un porcentaje del volumen total de la cámara se utilizará para almacenar los productos, y este porcentaje es generalmente determinado por la práctica de la industria y puede variar dependiendo de la configuración específica y los requisitos de operación de la cámara.

$$C_{de\ Al} = V_{l\ C\ám} \times P_{d\ O\ ón}$$

Sustituyendo:

$$C_{de\ Al} = 30m^3 \times 0.7$$

$$C_{de\ Al} = 21m^3$$

Entonces, bajo el supuesto de que el 70% del volumen de la cámara se puede usar para el almacenamiento, la capacidad de almacenamiento efectiva de la cámara frigorífica es de 21 metros cúbicos.

Paso 5: Flujo de aire:

Para garantizar una adecuada circulación de aire en una cámara frigorífica, es fundamental que el flujo de aire sea suficiente para mantener una temperatura uniforme y para retirar el calor que emanan los productos almacenados. El flujo de aire recomendado de 0.2 a 0.3 metros por segundo ayuda a asegurar este objetivo.

Primero, necesitamos establecer la cantidad de veces que el aire dentro de la cámara debe ser recirculado o cambiado por hora, conocido como la tasa de cambio de aire. Para productos perecederos, una tasa común podría ser de alrededor de 20 a 30 cambios por hora, pero esto puede variar según el tipo específico de producto y las recomendaciones del fabricante o normativas de la industria.

Con esta tasa de cambio de aire, calcularíamos el volumen de aire necesario de la siguiente manera:

Calcular el Volumen de Aire Necesario para un Cambio de Aire Completo:

) Ya sabemos que el volumen total de la cámara frigorífica es de 30 m³.

Determinar el Volumen de Aire por Hora:

) Multiplicamos este volumen por la tasa de cambio de aire para obtener el volumen de aire por hora. Por ejemplo, si usamos una tasa de 30 cambios por hora:

$$V_{\text{d a p h o r a}} = 30\text{m}^3 \times 30 (\text{c a m b i o s p o r h o r a}) = 900\text{m}^3/\text{h}$$

Convertir a Volumen de Aire por Segundo:

) Para obtener la cantidad de aire en metros cúbicos por segundo (m³/s), dividimos el volumen de aire por hora entre el número de segundos en una hora (3600 segundos):

$$V_{\text{d a p s e g}} = \frac{900\text{m}^3/\text{h}}{3600\text{s}/\text{h}} \approx 0.25\text{m}^3/\text{s}$$

Verificar la Velocidad de Flujo de Aire:

-) A continuación, debemos asegurarnos de que el volumen de aire por segundo se traduce en la velocidad de flujo de aire recomendada de 0.2 a 0.3 m/s.
-) La velocidad del flujo de aire se verificará mediante el diseño de los conductos y la capacidad de los ventiladores. Para esto, se calcula el área de sección transversal de los conductos y se usa la relación:

$$V_{\text{d f d a}} = \frac{V_{\text{d a p se}}}{\text{á r e a d e s e c c i ó n t r a n s v e r s a l d e l d u c t o}}$$

Para determinar si la velocidad de flujo de aire y el volumen de aire son adecuados, se deben tener en cuenta las especificaciones de los ventiladores y los conductos a instalar. Si la velocidad del aire es de 0.3 m/s , el área libre de la sección transversal que debe tener el ducto, como mínimo es de 0.83 m^2

Paso 5: Aislamiento térmico:

Para resolver el Paso 5 relativo al aislamiento térmico de la cámara frigorífica, se aplicará la Ecuación 20 proporcionada que es la Ley de Fourier para la conducción de calor en estado estacionario:

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

Donde:

Q es la tasa de transferencia de calor (en watts o BTU/h).

k es la conductividad térmica del material aislante (en W/m·K o BTU/h·ft·°F).

A es el área a través de la cual se transfiere el calor (en metros o pies cuadrados).

T es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la cámara (en °C o °F).

L es el espesor del material aislante (en metros o pies).

Para este cálculo, la temperatura exterior es de 35°C y la interior deseada es de 5°C, lo que nos da un ΔT de 30°C. Para este ejemplo, k es de 0.025 W/m·K, que es un valor representativo para materiales aislantes de alta calidad como el poliuretano.

) **Cálculo del Área** : El área A se refiere a la superficie total de las paredes, techo y suelo de la cámara frigorífica por donde puede ocurrir la transferencia de calor. Para una cámara con las dimensiones dadas, el área se calcula como:

$$A = 2 \cdot (L_1 \cdot A_1) + 2 \cdot (L_2 \cdot A_2) + (L_3 \cdot A_3)$$

Considerando que hay dos pares de paredes idénticas y un techo:

$$A = 2 \cdot (4 \cdot 2.5) + 2 \cdot (3 \cdot 2.5) + (4 \cdot 3)$$

$$A = 47 \text{ m}^2$$

) **Resolución para el Espesor L**: Se quiere mantener una tasa de transferencia de calor Q no mayor que la capacidad de nuestro sistema de refrigeración, de 46100 BTU/h, se pasa esta cantidad a watts sabiendo que 1 BTU/h = 0.2931 W:

$$Q = 10,000 \text{ BTU/h} \cdot 0.2931$$

$$Q \approx 13,511 \text{ W}$$

Ahora reordenamos la Ecuación 20 para resolver para L:

$$L = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{Q}$$

Sustituyendo los valores asumidos y calculados:

$$L \approx 26 \text{ m}$$

Este resultado nos indica que, bajo las suposiciones dadas, un espesor de aislamiento de 26 mm de material con una conductividad térmica de 0.025 W/m·K sería suficiente para mantener la tasa de transferencia de calor dentro de la capacidad de la unidad de refrigeración.

Es importante tener en cuenta que, en la práctica, se seleccionará un espesor de aislamiento estándar que puede ser mayor que el valor mínimo calculado, para garantizar un margen de seguridad y considerar otros factores como la humedad, el sellado y la vida útil del material. Además, los estándares de construcción y las regulaciones locales también pueden dictar el espesor

Paso 6: Sistema de refrigeración:

El sistema de refrigeración debe ser capaz de manejar la carga térmica calculada previamente. Se puede optar por un sistema de compresión de refrigeración que incluya un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador. El compresor comprimirá el refrigerante, liberando calor en el condensador, donde se disipará al entorno. Luego, el refrigerante se expandirá en el evaporador, absorbiendo calor del interior de la cámara y manteniendo la temperatura deseada.

Paso 7: Control y monitoreo:

Implementa un sistema de control y monitoreo para mantener la temperatura en el rango deseado. Esto involucra sensores de temperatura colocados en diferentes puntos de la cámara para medir la temperatura y enviar señales al sistema de control. El sistema de control ajustará el funcionamiento del sistema de refrigeración según sea necesario para mantener la temperatura constante.

Paso 8: Mantenimiento

Establecer un programa de mantenimiento regular para asegurarse de que el sistema de refrigeración, los ventiladores y todos los componentes funcionen correctamente. Esto incluye la limpieza de los evaporadores, la verificación de la eficiencia del compresor y la revisión de las conexiones eléctricas.

Es importante tener en cuenta que estos son valores hipotéticos y simplificados para ilustrar el proceso de dimensionamiento. En la práctica, el dimensionamiento real puede ser más complejo y debe tener en cuenta factores detallados como el tipo de productos, la geometría de la cámara, el aislamiento térmico y la eficiencia del sistema de refrigeración.

7.4 Inversiones y costos

La instalación de una cámara frigorífica es un proceso complejo que requiere una cuidadosa planificación y consideración de diversos aspectos. Uno de los factores clave desde el inicio es el costo total de instalación, que debe calcularse y comprenderse adecuadamente para tomar decisiones informadas y garantizar el éxito del proyecto (Moreno, 2000).

En el procedimiento de estimación de cálculos de inversión, existen varios aspectos importantes a considerar (CRYO SYSTEMS, 2021):

-) Diseño y planificación: Los costos asociados con el diseño y la planificación del proyecto, como los honorarios de ingenieros o consultores especializados, los gastos de planos y estudios de factibilidad, y los costos administrativos, deben tenerse en cuenta.
-) Materiales: Los materiales utilizados en la construcción de la cámara frigorífica, como los paneles aislantes, las puertas, los sistemas de refrigeración, los conductos de ventilación y el sistema de control, contribuirán al costo total de instalación. Es necesario considerar los precios de estos materiales, así como los costos de transporte y almacenamiento.
-) Mano de obra: El costo de la mano de obra para la instalación de la cámara frigorífica dependerá de la ubicación y los estándares laborales locales. Esto incluye los salarios de los técnicos y trabajadores especializados en la instalación de sistemas de refrigeración y aislamiento, así como el tiempo requerido para completar el proyecto.

- J Equipamiento y herramientas: Es posible que se requiera adquirir o alquilar equipos y herramientas especializadas para la instalación, como grúas, montacargas, herramientas de corte y soldadura, medidores y equipos de prueba. Estos costos también deben tenerse en cuenta.
- J Permisos y licencias: Algunas jurisdicciones pueden requerir permisos y licencias específicas para la instalación de una cámara frigorífica. Los costos asociados con la obtención de estos permisos y licencias deben considerarse en el cálculo.
- J Servicios auxiliares: Además de la instalación de la cámara frigorífica en sí, es posible que se requieran servicios auxiliares, como instalación eléctrica, conexión de sistemas de ventilación o instalación de sistemas de seguridad. Estos servicios deben tenerse en cuenta en el costo total.

Es importante recordar que los costos pueden variar según los factores mencionados anteriormente. Por lo tanto, se recomienda obtener presupuestos detallados de proveedores especializados en instalaciones de cámaras frigoríficas para tener una estimación precisa del costo total de instalación (CRYO SYSTEMS, 2021).

Para facilitar la toma de decisiones informadas al seleccionar una cámara frigorífica, se ha elaborado una tabla comparativa (Tabla 5) que presenta las diferentes opciones disponibles, teniendo en cuenta factores cruciales para su funcionamiento y eficiencia. La Tabla 5 ofrece una visión general de las alternativas disponibles, desde la conservación de frutas y verduras hasta la congelación de alimentos, junto con información detallada sobre la inversión inicial, los materiales de construcción, la frecuencia de mantenimiento y otros factores relevantes.

Tabla 5. Comparación de Factores Clave en los principales tipos de Cámaras Frigoríficas.

Tipo de Cámara	Tipo de Alimento	Rango de Temperatura	Inversión Inicial	Otros elementos de Instalación	Materiales de Construcción	Espesor de paneles	Consumo de energía	Frecuencia de Mantenimiento (Veces al Año)	Problemas de Deterioro
Conservación	Frutas, Verduras	0 - 10°C	Medio	Aislamiento, puertas, sistemas de refrigeración	Poliuretano, acero inoxidable	Mediano	Medio	Regular, cada 6-12 meses	Sensibles a temperatura y deterioro microbiológico
Conservación	Lácteos	0 - 10°C	Medio	Aislamiento, puertas, sistemas de refrigeración	Poliuretano, acero inoxidable	Mediano	Medio	Regular, cada 6-12 meses	Sensibles a temperatura y deterioro microbiológico
Congelación	Alimentos Congelados	-28 a -18 °C	Alto	Aislamiento de alta densidad, sistemas de refrigeración especiales	Alta densidad, acero inoxidable	Grueso	Bajo	Menos frecuente, cada 12-24 meses	Menor deterioro microbiológico debido a bajas temperaturas
Túneles de Congelación	Carne, Dulces	-30 a -40 °C	Muy Alto	Túneles automáticos, equipos de congelación	Acero inoxidable, aluminio	Grueso	Bajo	Menos frecuente, cada 12-24 meses	Mínimo deterioro microbiológico debido a congelación rápida
Abatidores de Temperatura	Alimentos Cocinados	90 a 3°C en menos de 90 min	Bajo	Equipos de enfriamiento rápido	Acero inoxidable, plástico de grado alimentario	Delgado	Alto	Alta, cada 3-6 meses	Evita deterioro microbiológico en alimentos cocinados

Elaboración propia

Esta tabla es un recurso valioso para profesionales y expertos en la industria de almacenamiento de alimentos, proporcionando información clave que respaldará la toma de decisiones fundamentales en este campo. A continuación, se describen en detalle las categorías y los datos incluidos en la tabla:

) **Tipo de Cámara:** se identifica la clasificación de las cámaras frigoríficas en función de su aplicación y requisitos de temperatura, lo que resulta en categorías específicas como:

- **Conservación:** Las cámaras de conservación son espacios diseñados para mantener la frescura y calidad de alimentos perecederos como frutas, verduras y lácteos (Rao & Parthiban, 2023).
- **Congelación:** Las cámaras de congelación son espacios diseñados específicamente para mantener alimentos a bajas temperaturas. Las cámaras de congelación son esenciales en la industria alimentaria y minorista para mantener productos congelados hasta que se vendan o se utilicen (Rao & Parthiban, 2023).
- **Túneles de congelación:** Los túneles de congelación son sistemas automatizados para la congelación rápida de diversos productos, como carne y dulces. A diferencia de las cámaras de congelación, los túneles se utilizan para congelar alimentos en un proceso continuo y rápido, ideal para productos que requieren una congelación ultrarrápida para preservar la calidad. Los túneles de congelación son comunes en la producción de alimentos como carne procesada, productos de panadería, alimentos precocinados (Rao & Parthiban, 2023).
- **Abatidores de temperatura:** Los abatidores de temperatura son equipos utilizados para enfriar rápidamente alimentos cocinados y prevenir el crecimiento de microorganismos (Rao & Parthiban, 2023).

-) **Tipo de Alimento:** se especifica el tipo de alimentos que se destinan a ser almacenados en cada categoría de cámara. Los alimentos incluyen frutas y verduras, lácteos, alimentos congelados, carne y dulces, y alimentos cocinados.
-) **Rango de Temperatura:** este factor especifica los rangos de temperatura en grados Celsius necesarios para mantener las condiciones óptimas de almacenamiento de alimentos (Khan, Bhat, & Narayan, 2017):
- 0 - 10°C: Ideal para la conservación de frutas, verduras y lácteos. Retrasa la maduración y el crecimiento de microorganismos, manteniendo los productos en buenas condiciones.
 - -28 a -18°C: Perfecto para la congelación de alimentos como carnes y productos congelados. Evita el deterioro microbiológico y prolonga la vida útil de los alimentos.
 - -30 a -40°C: Esencial en túneles de congelación para una congelación rápida. Minimiza el deterioro microbiológico y preserva la calidad de los alimentos.
 - 90 a 3°C en menos de 90 minutos: Utilizado en abatidores de temperatura para enfriar alimentos cocinados rápidamente, evitando el deterioro microbiológico y asegurando la seguridad alimentaria.
-) **Inversión Inicial:** Se clasifica la inversión inicial en categorías, lo que permite estimar los costos promedio para cada tipo de cámara. Aquí se presenta un análisis detallado de los rangos de precios en dólares para cada categoría:
- Bajo: Aproximadamente, menos de \$10,000 USD.
 - Medio: En el rango de \$10,000 - \$50,000 USD para cámaras de tamaño mediano, con la posibilidad de superar los \$100,000 para cámaras de mayor envergadura.
 - Alto: Generalmente, se encuentra entre \$50,000 y \$200,000 USD para cámaras de tamaño mediano a grande, con la capacidad de congelación o capacidades excepcionales que pueden superar los \$500,000 USD.

- Muy Alto: Esta categoría abarca una amplia variación de precios, con valores que oscilan entre \$100,000 y \$500,000 USD o más, dependiendo del tamaño y del grado de automatización.
-) **Otros elementos de Instalación:** En este factor, se desglosan los elementos de instalación importantes para cada tipo de cámara frigorífica:
- Conservación: los elementos de instalación esenciales incluyen sistemas de aislamiento, puertas y sistemas de refrigeración. Estos componentes ayudan a mantener la temperatura adecuada y retrasan la maduración y el crecimiento de microorganismos (Kurowski, 2018).
 - Congelación: los elementos de instalación clave son sistemas de alta densidad de aislamiento y sistemas de refrigeración especializados. El aislamiento de alta densidad crea una barrera efectiva para mantener temperaturas extremadamente bajas en el interior de la cámara. Los sistemas de refrigeración de última generación son cruciales para lograr y mantener estas bajas temperaturas (Kurowski, 2018).
 - Túneles de Congelación: requieren equipos especializados, como túneles automáticos y sistemas de congelación de alta eficiencia. Los túneles automáticos son sistemas de congelación de alta velocidad diseñados para una congelación rápida de productos. Los sistemas de congelación de alta eficiencia, como la circulación de aire forzado a temperaturas extremadamente bajas (Kurowski, 2018).
 - Abatidores de Temperatura: se utilizan equipos de enfriamiento rápido. La velocidad y precisión del enfriamiento son fundamentales en esta aplicación, ya que evitan que los alimentos cocinados permanezcan en la "zona de peligro" de temperatura, donde los microorganismos pueden proliferar (Kurowski, 2018).
-) **Materiales de Construcción:** se especifica los materiales utilizados en la fabricación de las cámaras frigoríficas, lo que tiene un impacto crítico en su eficiencia y durabilidad (Toledo Quispe, 2016; COGOLLO FLÓREZ, 2011):

- Poliuretano: Ampliamente utilizado debido a su capacidad de aislamiento térmico, el poliuretano se utiliza en paneles y paredes, ayudando a mantener una temperatura constante y eficiente en el interior de la cámara.
 - Acero inoxidable: Conocido por su resistencia a la corrosión y durabilidad, el acero inoxidable se emplea en las superficies y estructuras internas de las cámaras, asegurando la higiene y longevidad.
 - Alta densidad: En el caso de cámaras de congelación, los paneles de alta densidad ofrecen un aislamiento superior, evitando la fuga de frío y manteniendo temperaturas extremadamente bajas.
 - Aluminio: A menudo utilizado en túneles de congelación, el aluminio proporciona una combinación de resistencia y ligereza, favoreciendo el transporte eficiente de alimentos a través de la cámara.
 - Plástico de grado alimentario: En abatidores de temperatura, se recurre a este material seguro para alimentos debido a su resistencia a la corrosión, no poroso y fácil de limpiar, manteniendo la integridad de los alimentos cocidos.
-) **Espesor de paneles:** se categoriza el espesor de los paneles utilizados en la cámara frigorífica, lo que influye en el aislamiento térmico. Se categoriza como :
- Panel Delgado: Espesor de aproximadamente 50 mm (2 pulgadas) o menos. Adecuado para aplicaciones con espacio limitado o aislamiento térmico menos riguroso, como cámaras de menor tamaño. Puede aumentar el consumo de energía (CRYO SYSTEMS, 2021).
 - Panel Mediano: Espesor entre 75 mm (3 pulgadas) y 100 mm (4 pulgadas). Equilibra espacio y aislamiento térmico. Ideal para cámaras de tamaño mediano y una variedad de aplicaciones sin comprometer en gran medida el rendimiento (CRYO SYSTEMS, 2021).
 - Panel Grueso: Espesor de más de 100 mm (4 pulgadas). Proporciona un aislamiento térmico eficiente y es adecuado para aplicaciones que requieren un control preciso de la temperatura o donde se almacenan productos sensibles al calor, especialmente en cámaras más grandes. Minimiza la

pérdida de temperatura y reduce la necesidad de funcionamiento excesivo del equipo (CRYO SYSTEMS, 2021).

) **Frecuencia de Mantenimiento (Veces al Año):** se indica la periodicidad con la que se deben realizar labores de mantenimiento en cada tipo de cámara frigorífica, lo cual es crucial para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil (Molina, 2018).

- Menos Frecuente: En cámaras con una frecuencia de mantenimiento menos frecuente, las labores de mantenimiento se realizan a intervalos más amplios, generalmente cada 12 a 24 meses. Esto suele aplicarse a cámaras con características de alta densidad y sistemas de refrigeración especializados. A pesar de la menor frecuencia, se trata de un mantenimiento más profundo que implica la revisión exhaustiva de sistemas y componentes (Centeno, 2019) .
- Regular: En cámaras frigoríficas con una frecuencia de mantenimiento regular, se deben llevar a cabo inspecciones y trabajos de rutina cada 6 a 12 meses. Esto incluye la revisión de componentes clave, como sistemas de refrigeración y control de temperatura, así como la limpieza y el reemplazo de elementos desgastados. Este mantenimiento periódico ayuda a prevenir problemas y garantiza la eficiencia a lo largo del tiempo (Centeno, 2019).
- Alta: Las cámaras frigoríficas con una alta frecuencia de mantenimiento requieren intervenciones más frecuentes, programadas cada 3 a 6 meses. Esto es especialmente relevante en abatidores de temperatura utilizados para enfriar alimentos cocinados rápidamente. El mantenimiento constante es crucial para garantizar que estos equipos funcionen de manera eficiente y cumplan con los estándares de seguridad alimentaria, lo que incluye la limpieza regular y la calibración de sistemas de control (Centeno, 2019).

) **Consumo de Energía:** se indica el nivel de consumo de energía asociado a cada tipo de cámara frigorífica, lo cual es fundamental para evaluar los costos operativos y la eficiencia energética.

- Bajo: En cámaras con un consumo de energía bajo, se utilizan equipos y sistemas altamente eficientes que minimizan el gasto de energía. Esto se

traduce en costos operativos más bajos a lo largo del tiempo, a pesar de posiblemente requerir una inversión inicial más alta. La eficiencia energética es prioritaria, lo que disminuye la huella de carbono y promueve prácticas sostenibles (Kurowski, 2018).

- Medio: Las cámaras con un consumo de energía medio utilizan sistemas que, si bien son eficientes, pueden requerir un consumo energético moderado para mantener las condiciones de temperatura adecuadas. Esto implica costos operativos que se sitúan en un rango intermedio, lo que puede ser una elección equilibrada en términos de inversión inicial y costos a largo plazo (Kurowski, 2018).
- Alto: En las cámaras con un consumo de energía alto, los equipos y sistemas pueden ser menos eficientes y, por lo tanto, consumir más energía para mantener las condiciones de temperatura. Esto puede resultar en costos operativos más elevados, lo que a menudo se traduce en una inversión inicial más baja. La elección de este tipo de cámaras puede depender de factores específicos del proyecto y de la disponibilidad de recursos (Kurowski, 2018).

) **Problemas de Deterioro:** Se detallan los problemas comunes de deterioro que pueden surgir en cada tipo de cámara frigorífica. Este aspecto es crucial para comprender los desafíos específicos relacionados con el almacenamiento de alimentos.

Además de considerar los factores mencionados anteriormente existen otros aspectos relevantes al calcular la inversión para la construcción de un cuarto frigorífico. Estos aspectos se relacionan con los criterios de diseño y pueden influir en la toma de decisiones financieras (CRYO SYSTEMS, 2021). Algunos de ellos incluyen:

-) Eficiencia energética: Evaluar la eficiencia energética de los equipos y sistemas de la cámara frigorífica puede tener un impacto significativo en los costos operativos a largo plazo. Es importante seleccionar equipos y componentes que cumplan con estándares de eficiencia energética y minimicen el consumo de energía. Aunque esto puede requerir una inversión

inicial más alta, la reducción en los costos de energía a lo largo del tiempo puede compensar esta inversión adicional.

-) Control de temperatura y humedad: La precisión y estabilidad en el control de la temperatura y la humedad son aspectos críticos para muchas aplicaciones en cámaras frigoríficas. Se debe seleccionar sistemas de control que puedan mantener las condiciones deseadas de manera eficiente y confiable. Esto no solo garantizará la calidad y seguridad de los productos almacenados, sino que también puede reducir los riesgos de pérdidas y desperdicios.
-) Espacio y capacidad de almacenamiento: Evaluar correctamente el espacio y la capacidad de almacenamiento necesarios es fundamental para evitar inversiones excesivas o insuficientes. Se debe considerar el tamaño y la cantidad de productos que se almacenarán, así como las necesidades de manipulación y acceso a los mismos. Un diseño eficiente del espacio de almacenamiento puede maximizar la capacidad y optimizar el flujo de trabajo, lo que resultará en una mayor productividad y rentabilidad.
-) Sistema de refrigeración y aislamiento: El sistema de refrigeración y el aislamiento de la cámara frigorífica son elementos críticos para mantener las condiciones de temperatura adecuadas. Es crucial seleccionar sistemas de refrigeración eficientes y confiables que se adapten a los requisitos específicos de temperatura y carga térmica de la cámara. Asimismo, se debe considerar el aislamiento adecuado, incluyendo la selección del tipo de panel y su espesor para garantizar un aislamiento térmico óptimo.

En resumen, al calcular la inversión para la construcción de una cámara frigorífica, es esencial considerar diferentes aspectos para evaluar el equipo en función de la inversión inicial y los mantenimientos preventivos a largo plazo. Es recomendable obtener presupuestos detallados de proveedores especializados en instalaciones de cámaras frigoríficas para tener una estimación precisa del costo total y considerar el equilibrio entre la inversión inicial y los gastos de mantenimiento. Al tomar

decisiones informadas y planificar adecuadamente, se puede asegurar el éxito del proyecto y maximizar la eficiencia y rentabilidad de la cámara frigorífica.

7.5 Herramientas digitales

En el diseño y análisis de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas, las herramientas digitales desempeñan un papel fundamental al proporcionar soluciones eficientes y precisas. A continuación, se presentan algunas de las herramientas digitales más utilizadas en este campo:

CoolProRoom: Es un software gratuito desarrollado por CoolProyect que se utiliza para el diseño y análisis de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas. Permite calcular la carga térmica, dimensionar los equipos, simular el comportamiento térmico y evaluar la eficiencia energética (CoolProyect, 2020).

Therm: Es un software desarrollado por National Institute of Standards and Technology (NIST) que se utiliza para el análisis y diseño de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas. Permite realizar cálculos de carga térmica, seleccionar equipos, simular el comportamiento térmico y evaluar el rendimiento energético (Building energy software, 2019).

Elite Software: Es una suite de programas de software que incluye Elite RHVAC, Chvac y Energy Audit. Estos programas se utilizan para el diseño y cálculo de sistemas de climatización y cámaras frigoríficas. Permiten calcular la carga térmica, seleccionar equipos, simular el comportamiento térmico y evaluar la eficiencia energética (Elite software, 2018).

7.5.1 Herramienta recomendada

La herramienta que se recomienda para el diseño y análisis de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas es CoolProRoom y se justifica por varias razones fundamentales:

Precisión en los cálculos: CoolProRoom proporciona al usuario una amplia gama de funcionalidades y modelos precisos que permiten realizar cálculos térmicos y de rendimiento con alta exactitud (CoolProyect, 2020). Esto es crucial para asegurar que el sistema de refrigeración cumpla con los requerimientos de temperatura y capacidad establecidos, evitando problemas como el sobredimensionamiento o subdimensionamiento de equipos.

Optimización del diseño: CoolProRoom ofrece herramientas de simulación y análisis que permiten evaluar diferentes escenarios y configuraciones de diseño. Esto facilita la identificación de las mejores opciones en términos de eficiencia energética, rendimiento del sistema y costos (CoolProyect, 2020). Al poder comparar y analizar diferentes alternativas, los diseñadores pueden tomar decisiones informadas y optimizar la eficiencia del sistema de refrigeración.

Ahorro de tiempo y recursos: Al automatizar muchos de los cálculos y procesos de diseño, CoolProRoom agiliza el trabajo de los profesionales en el campo de la refrigeración. Esto les permite ahorrar tiempo valioso al realizar cálculos complejos de manera más rápida y eficiente (CoolProyect, 2020). Además, la herramienta proporciona una interfaz intuitiva que facilita el uso y reduce la curva de aprendizaje, lo que contribuye a una mayor productividad.

Fiabilidad y respaldo técnico: CoolProRoom es desarrollado por Danfoss, una reconocida empresa en el sector de la refrigeración. Esto garantiza que la herramienta esté respaldada por un sólido soporte técnico y una base de conocimientos especializados (CoolProyect, 2020). Los usuarios de CoolProRoom pueden confiar en la calidad y confiabilidad de la herramienta, así como en la disponibilidad de recursos adicionales, como manuales, tutoriales y actualizaciones.

Gratuidad y accesibilidad: Una ventaja significativa de CoolProRoom es que se ofrece de forma gratuita, lo que lo convierte en una herramienta accesible para profesionales, estudiantes y empresas que deseen diseñar y analizar sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas (CoolProyect, 2020). Esto elimina la barrera

económica y permite a un amplio espectro de usuarios beneficiarse de las capacidades de la herramienta sin incurrir en costos adicionales.

En resumen, el uso de CoolProRoom en el diseño y análisis de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas se justifica debido a su precisión en los cálculos, capacidad de optimizar el diseño, ahorro de tiempo y recursos, respaldo técnico confiable y su disponibilidad gratuita. Al aprovechar esta herramienta, los profesionales pueden garantizar diseños eficientes, confiables y rentables para sistemas de refrigeración.

VIII. DISCUSIÓN

En este estudio, se ha desarrollado una metodología para el diseño y cálculo de cámaras frigoríficas en la industria alimenticia. Se han abordado varios aspectos relevantes, incluyendo la selección del sistema de refrigeración, el cálculo de la carga térmica y la elección de los componentes adecuados. Se destaca la importancia de mantener una temperatura controlada y constante en las cámaras frigoríficas para garantizar la calidad y seguridad de los productos almacenados.

En cuanto a la selección del sistema de refrigeración, se han considerado factores como la capacidad de enfriamiento requerida, la temperatura de almacenamiento deseada, la carga térmica estimada y los costos operativos. Además, se ha enfatizado la importancia de evaluar opciones de refrigeración más eficientes, como las tecnologías basadas en refrigeración natural y fuentes de energía renovable, para reducir el impacto ambiental.

El cálculo de la carga térmica ha sido otro aspecto crucial en el diseño de las cámaras frigoríficas. Se han revisado diferentes métodos que consideran variables como las propiedades de los productos almacenados, las condiciones climáticas y el aislamiento térmico de la cámara. Contar con una metodología precisa y confiable para determinar la carga térmica permite dimensionar adecuadamente el sistema de refrigeración y garantizar un funcionamiento eficiente.

La selección de los componentes de la cámara frigorífica también ha sido objeto de discusión. Se ha destacado la importancia de utilizar materiales y equipos de alta calidad que cumplan con los estándares necesarios para asegurar un rendimiento óptimo y una eficiencia energética adecuada. Los paneles aislantes, las puertas, los sistemas de ventilación y los sistemas de control desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la temperatura adecuada y la minimización de las pérdidas de energía.

La inclusión de herramientas digitales, como CoolProRoom, ha sido fundamental en el diseño y análisis de sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas. Esta

herramienta se destaca por su precisión en los cálculos y su capacidad para optimizar el diseño de manera eficiente, evitando problemas de sobredimensionamiento o subdimensionamiento de equipos. Su interfaz intuitiva y respaldo técnico confiable hacen que CoolProRoom sea una opción atractiva y accesible para profesionales, estudiantes y empresas en Nicaragua, contribuyendo al diseño de sistemas de refrigeración eficientes y rentables.

La metodología desarrollada en este estudio, adaptada a las necesidades de la industria alimenticia, proporciona un enfoque sistemático y estructurado para el diseño de cámaras frigoríficas. Se espera que esta metodología sea una herramienta útil para los profesionales del sector, facilitando la toma de decisiones y mejorando la eficiencia y calidad de las cámaras frigoríficas utilizadas en la industria alimenticia.

La comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con estudios previos muestra la consistencia y confiabilidad de la metodología propuesta. Si bien algunos aspectos han sido abordados en investigaciones anteriores, la metodología desarrollada en este estudio integra estos aspectos en una guía completa y práctica para el diseño de cámaras frigoríficas en la industria alimenticia.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta metodología tiene limitaciones y es necesario adaptarla a las particularidades de cada instalación y sus requisitos específicos. Se sugiere realizar estudios futuros que evalúen la eficacia y aplicabilidad de esta metodología en diferentes contextos y condiciones.

IX. RECOMENDACIONES

) **Selección Adecuada de Sistemas de Refrigeración:**

Se resalta la vital importancia de tomar decisiones acertadas en relación a los sistemas de refrigeración, alineándolas con las necesidades intrínsecas de la industria alimenticia. Mediante un análisis detallado de diversas tecnologías, es fundamental considerar cómo satisfacen los requisitos específicos de enfriamiento y cómo contribuyen a optimizar la eficiencia energética.

) **Precisión en el Cálculo de la Carga Térmica:**

Se enfatiza el papel crítico de calcular con una precisión meticulosa la carga térmica inherente a las cámaras frigoríficas. A través de una evaluación exhaustiva de múltiples métodos de cálculo, resulta esencial comprender cómo factores como las propiedades de los productos almacenados, las condiciones climáticas y el aislamiento térmico interactúan para influir en esta carga. La exactitud en este cálculo es fundamental para el dimensionamiento adecuado del sistema de refrigeración.

) **Elección de Componentes de Alta Calidad:**

Se subraya la ineludible importancia de emplear materiales y componentes de la más alta calidad en la construcción de las cámaras frigoríficas. Un énfasis en la calidad contribuye directamente a la eficiencia y confiabilidad a largo plazo del sistema. Además, minimiza las pérdidas de energía y, en última instancia, reduce los costos operativos, fomentando así un enfoque sostenible en la operación.

) **Utilización de Herramientas Digitales y Software:**

Se reconoce la utilidad intrínseca de las herramientas digitales, como CoolProRoom, como valiosos instrumentos para el diseño y cálculo óptimo de cámaras frigoríficas. Estas herramientas avanzadas evitan los desafíos

relacionados con el sobredimensionamiento o subdimensionamiento de equipos, a la vez que aumentan la eficiencia general del sistema. Su aplicación se traduce en un proceso de diseño más preciso y en una utilización más efectiva de los recursos.

) **Consideraciones Climáticas y Geográficas:**

Se destaca la importancia de incorporar de manera activa las condiciones climáticas y la ubicación geográfica al momento de diseñar cámaras frigoríficas en Nicaragua. Reconocer cómo estos factores influyen en las decisiones de diseño y en la eficiencia operativa es esencial para un funcionamiento optimizado. Adaptar el diseño a estas condiciones únicas puede maximizar la eficacia del sistema de refrigeración.

) **Adopción de Tecnologías Sostenibles:**

Se hace hincapié en la trascendencia de adoptar tecnologías de refrigeración sostenibles y eficientes, que tengan un impacto positivo tanto en la eficiencia energética como en la reducción del impacto ambiental. Se explora la implementación de soluciones que reduzcan la huella de carbono, como fuentes de energía renovable y prácticas de refrigeración más amigables con el medio ambiente.

) **Investigación y Actualización Constante:**

Se recomienda encarecidamente a los investigadores futuros mantenerse al tanto de los avances tecnológicos y las mejores prácticas en el campo de la refrigeración. Explorar áreas emergentes como la automatización, la inteligencia artificial y soluciones de refrigeración sostenibles abre la puerta a la mejora continua de la eficiencia y la calidad en la industria alimenticia.

) **Aplicabilidad y Adaptación:**

Se reconoce que, si bien la metodología propuesta es valiosa, es crucial adaptarla a las características particulares de cada instalación y sus

requisitos específicos. Se sugiere la realización de estudios futuros que evalúen la eficacia y aplicabilidad de la metodología en diferentes contextos y condiciones, para garantizar su efectividad en una amplia gama de situaciones.

) **Contribución a la Industria Alimenticia:**

Se pone en relieve cómo la metodología desarrollada posee el potencial de ser una herramienta valiosa para los profesionales del sector, contribuyendo a la mejora significativa de la eficiencia y calidad de las cámaras frigoríficas utilizadas en la industria alimenticia. A través de la implementación de esta metodología, se espera que los productos almacenados alcancen los estándares óptimos de seguridad y calidad.

X. CONCLUSIONES

Este estudio resalta de manera significativa la importancia crucial que ostentan las cámaras frigoríficas en el ámbito de la industria alimentaria. Se subraya la imperante necesidad de realizar una selección rigurosa de sistemas de refrigeración idóneos y llevar a cabo cálculos meticulosos de la carga térmica. En aras de fomentar una mayor eficiencia y una reducción de costos, se recomienda enfáticamente la elección de sistemas y componentes de alta calidad, así como la adopción de herramientas digitales para agilizar tanto el diseño como los cálculos. Adicionalmente, el factor climático y la ubicación geográfica emergen como elementos cruciales al diseñar cámaras frigoríficas en Nicaragua, al igual que la adopción de tecnologías de refrigeración más sostenibles y eficientes, lo cual sin duda repercute positivamente en el sector.

Inicialmente, se destaca la importancia de definir con precisión los componentes de una cámara frigorífica, considerando factores tales como el aislamiento térmico y los sistemas de refrigeración y ventilación. Este análisis exhaustivo establece una base sólida para la obtención de datos en el proceso de diseño, en última instancia garantizando una toma de decisiones más informada y asegurando la calidad y eficiencia operativa de las cámaras frigoríficas.

Seguidamente, el establecimiento de criterios de cálculo se revela como un factor esencial en el proceso de diseño y dimensionamiento de instalaciones y componentes del sistema de refrigeración. Mediante la consideración meticulosa de elementos como la carga térmica, propiedades de los productos almacenados y condiciones climáticas, se ha logrado asegurar la precisión en los cálculos realizados. Dichos criterios actúan como guía confiable para el dimensionamiento de sistemas y componentes, garantizando un rendimiento óptimo de las cámaras frigoríficas.

Por otro lado, la determinación de un procedimiento de estimación de cálculos de inversión en la instalación y el mantenimiento de cámaras frigoríficas emerge como

un aspecto vital en la planificación financiera. Al considerar de manera detallada los costos asociados con equipos, instalación y mantenimiento, se ha brindado una metodología sólida para evaluar la inversión requerida. Esta evaluación precisa de los costos permite a las industrias del país tomar decisiones informadas y planificar de manera efectiva el uso de sus recursos.

Finalmente, la designación de una herramienta digital como CoolProRoom para agilizar la memoria de cálculo en el diseño de cámaras frigoríficas, se posiciona como un paso hacia una mayor eficiencia y ahorro de recursos. Mediante la implementación de esta herramienta, se ha logrado agilizar considerablemente el proceso de cálculo y diseño, reduciendo significativamente el tiempo requerido y mejorando la precisión en los resultados. Además de sus beneficios en términos de ahorro energético, esta herramienta digital optimiza la gestión de productos perecederos almacenados en las cámaras frigoríficas.

En resumen, este estudio aborda de manera integral la relevancia crítica de las cámaras frigoríficas en la industria alimentaria, enfocando la atención en la selección meticulosa de sistemas de refrigeración y la realización de cálculos precisos de carga térmica. A través de la promoción de la elección de componentes de alta calidad, la adopción de herramientas digitales eficientes y la consideración de factores climáticos y geográficos, este estudio contribuye significativamente al fortalecimiento de la industria y promueve prácticas de diseño y operación eficientes y sostenibles.

XI. REFERENCIAS

- Aguiló, R. R. (1998). *Refrigeración y Aire Acondicionado, su importancia e impacto en el Medioambiente*. Obtenido de <http://www.termosistemas.com.ar/sitio/vernota.php?nota=197>
- Alomá, E., & Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(3), 387-400.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). (2022). *ASHRAE Handbook - Refrigeration*. Atlanta.
- ASHRAE a. (2005). *Handbook Fundamentals (SI Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineer, Atlanta, GA.
- ASHRAE b. (2013). *Handbook -Fundamentals*.
- Balbas, A. (2021). *Diseño de una instalacion frigorifica en la insdustria alimentaria*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Building energy software. (2019). *THERM*. Obtenido de www.buildingenergysoftwaretools.com:
<https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/therm-0>
- Caillagua, J., & Shulca, E. (2022). *Diseño de una camara frigorifica para quesos en la microempresa de productos lacteos "Don Pato"*. Latacunga: Universidad Tecnica Cotopaxi.
- Castellanos, E. P. (2012). *Guía técnica para el diseño de cuartos fríos*.
- Castillo, M., & Sigueñas, J. (2020). *Diseño de una camara frigorifica para la refrigeracion de 3 TN de pescado en el mercado zonal del Lambayeque*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.

- Centeno, L. (2019). *Mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las cámaras frigoríficas en la empresa distribuidora de alimentos del sur S.A.C.* Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Chantrasrisalai, C., & Fisher, D. E. (2007). *Lighting Heat Gain Parameters: Experimental Results (RP-1282).*
- Chantrasrisalai, C., & Fisher, D. E. (2007). *Lighting Heat Gain Parameters: Experimental Results (RP-1282).*
- COGOLLO FLÓREZ, J. M. (2011). *Cámara frigorífica de sandía para pescados y carnes preparadas Coldroom cámaras frigoríficas COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO.* DYNA, 78(165), 18-27.
- CONUEE, PYME, SENER. (2008). *Beneficios del aislamiento en la industria.* 52 p. Obtenido de Disponible en: www.conuee.gob.mx.
- CoolProyect. (2020). *SOFTWARE PARA DISEÑO Y CÁLCULO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS.* Obtenido de coolproyect.es: <https://coolproyect.es/calculo-de-camaras-frigorificas/>
- Cortes, I., Estrada, O., Rojas, D., De la cruz, R., Rosell, O., & Sanchez, A. (2022). Modelos de predicción de las cargas térmicas en una cámara frigorífica de productos térmicos. *Ciencia y tecnología*, 27(4), 252-261.
- CRYO SYSTEMS. (2021). *¿Cuál es el costo de construir una cámara frigorífica de frutas?* Obtenido de www.cold-storage-project.com/: <https://www.cold-storage-project.com/es/cual-es-el-costode-construir-una-camara-frigorifica-de-frutas/>
- de León, L. F., & Cuevas, R. (2004). *Transporte rural de productos alimenticios en América Latina y el Caribe (Vol. 155).* Food & Agriculture Org..

doorfrig. (2020). *doorfrig.com*. Obtenido de Partes y funcionamiento de una cámara frigorífica: <https://doorfrig.com/partes-de-una-camara-frigorifica/>

DOSSAT, R. J. (1980). *Principio de refrigeración*. CECOSA.

Elite software. (2018). *Welcome to Elite Software*. Obtenido de www.elitesoft.com: <https://www.elitesoft.com/>

FAO. (2022). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo*.

Flores Barrientos, D. L., & Saldivar Huanacuni, J. H. (2020). *Análisis de los métodos de distribución en la industria pesquera*.

Frigibel. (2016). *frigibel.net*. Obtenido de Cámaras frigoríficas: partes y funcionamiento: <https://www.frigibel.net/camaras-frigorificas-partes-y-funcionamiento/>

Galdo, R., & Garcia, L. (2021). Entomofagia, ¿ Una potencial alternativa para la seguridad alimentaria?: Una revision narrativa. *Revista española de Nutrición*, 28(2), 1-14.

Garcia, A. (2020). *Eficiencia energetica en camaras frigorificas de la industria alimentaria en Nicaragua*. Mangua: Universidad Nacional Agraria.

Herrera, C. (2018). Investigacion cualitativa y analisis de contenido tematico. *Revista general de Informacion y Documentacion*, 28(1), 119-142.

Huang, C., & Zhang, Y. (2014). Calculation of high-temperature insulation parameters and heat transfer behaviors of multilayer insulation by inverse problems method. *Chinese Journal of Aeronautics* 27(4): 1-6.

Instituto Nicaragüense de Estudios territoriales. (2023). *INETER*. Obtenido de <https://www.ineter.gob.ni/index.html>

ISO. (2023). *Standards*. Obtenido de www.iso.org: <https://www.iso.org/standards.html>

- Isover. (2004a). *Manual de aislamiento en la industria*. . Saint-Gobain Isover España, Madrid, 148 p.
- Khan, F. A., Bhat, S. A., & Narayan, S. (2017). *Storage Methods for Fruits and Vegetables*. Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Kashmir. Shalimar.
- Kurowski, K. (2018). *The influence of building and installation conditions on shaping the optimal conditions of room microclimate*. In E3S Web of Conferences (Vol. 45, p. 00042). EDP Sciences.
- Lara, D., Medina, R., Merino, G., & Cañunmir, J. (2022). *Evaluacion energetica de una camara frigorifica movil con fotovotaica para el mantenimiento de cereza en etapa postcosecha en la zozza central de Chile*. Cartagena: Universidad Politecnica de Cartagena.
- Lopez, A., Morales, G., & Rodriguez, M. (2017). Estudio comparativo de sistemas de refrigeracion para instalaciones frigorificas en la industria alimentaria. *Revista de ingenieria de alimentos*, 214, 126-135.
- Lopez, M. (2019). *Diseño y construccion de una camara frigorifica para la conservacion de productos alimenticios en Nicaragua*. Mangua: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Marchant, I. (2019). *Manual conservacion de alimentos*. Arica: Inacap.
- Medina, Y. C. (2020). *Introducción a la termotransferencia*. Editorial Universitaria (Cuba).
- Molina, L. A. (2018). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LAS CÁMARAS FRIGORÍFICAS DE LA EMPRESA FLORÍCOLA JOSARFLOR SA Y SU INCIDENCIA EN EL COSTO DE OPERACIÓN*. (Bachelor's thesis, Universidad Tecnológica Indoamérica).

- Moreno, P. M. (2000). *Cámaras frigoríficas y túneles de enfriamiento rápido*. Madrid: AMV ediciones.
- Nieto, E. (2018). *Tipos de investigación*. Lima: Universidad Santo Domingo de Guzman.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
- Ortega, A. (2018). *Enfoques de la investigación*. Soledad: Universidad del Atlantico.
- por Camiones, D. E. (1995). *Metodos para el Cuidado de Alimentos Perecederos*.
- Poveda, J., & Bohorquez, J. (2020). *Elaboracion de un plan de mantenimiento interactivo, para sistemas de refrigeracion comercial de media y baja temperatura, instalados por la empresa DIAC ingenieria S.A.S*. Bogota D.C: Fundacion Universidad de America.
- Progues Plus. (2023). *Control de temperatura en camaras frigorificas*. Obtenido de [www.plugandtrack.com: https://www.plugandtrack.com/es/servicios/control-de-la-temperatura-de-las-camaras-frigorificas/](https://www.plugandtrack.com/es/servicios/control-de-la-temperatura-de-las-camaras-frigorificas/)
- Ramirez, F., Vargas, L., & Cardenas, S. (2020). La seguridad alimentaria: una revision sistematica con analisis no convencional. *Revista espacios*, 41(45), 319-328.
- Rao, G. B., & Parthiban, A. (2023). *Study on cold room enhancements for commercial applications-*. Review. Materials Today: Proceedings, 80, 2505-2512.
- Reina, A. (2022). Implementacion de medidas de eficiencia energetica para la construccion factible de un refrigerador comercial de energia solar fotovoltaica. *Ciencia e Ingenieria Neograndina*, 32(2), 61-84.

- Rivero, L. (2018). *Selección de bacterias lácticas autóctonas para su potencial aplicación en la conservación de alimentos de origen vegetal*. Tucuman: Universidad Nacional de Tucuman.
- Sancho, T. (2021). *Diseño de una cámara de congelación para el almacenamiento de productos carnicos en el Hotel Baldi Hot Springs durante temporada alta*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Sarfraz, O., & Bach, C. K. (2018). *Update to office equipment diversity and load factors (ASHRAE 1742-RP)*.
- Serrano, F. (2022). *Proyecto de instalación y mantenimiento de una cámara frigorífica para el colegio "Platero y Yo"*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Smith, J., Johson, R., & Martinez, C. (2020). Optimización del sistema de refrigeración para cámaras frigoríficas. *Revista internacional de refrigeración*, 105, 145-158.
- solocamarasfrigorificas. (2018). www.solocamarasfrigorificas.com. Obtenido de 7 opciones en equipos de refrigeración para cámaras frigoríficas: <https://www.solocamarasfrigorificas.com/blog-articulos/17-camaras-frigorificas/56-equipos-refrigeracion-camaras-frigorificas>
- Tané hermetic. (2019). *PUERTAS HERMÉTICAS PARA REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL / COMERCIAL*. Obtenido de www.tanehermetic.com: <https://www.tanehermetic.com/es/refrigeracion-industrial/-/comercial/web-tane/productos.aspx>
- Tapia, G. (2021). *Diseño de una cámara frigorífica para almacenamiento de palta de exportación con capacidad de 132 Tn. Empresa agropacking export-Piura*. Peru: Universidad Nacional de Callao.

- Toledo Quispe, C. A. (2016). *Diseño de una cámara frigorífica para incrementar la Capacidad De Conservación De Productos lácteos de la empresa tongod cajamarca.*
- Velazquez, B. (2022). *Cargas termicas en refrigeracion.* Valanecia: Universidad Pololitecnica de Valencia.
- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. (2021). Tecnologia emergente: campo de pulsos electricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su contenido de antioxidandes. *Revista de Chilena de Nutricion*, 48(4), 609-619.
- Winterhalter. (2021). *Normas HACCP: 7 principios para la seguridad alimentaria.* Obtenido de www.winterhalter.com: <https://www.winterhalter.com/mx-es/blog-winterhalter/normas-haccp-7-principios-para-la-seguridad-alimentaria/>