



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

**TÍTULO**

**DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA PARA LA  
CONSERVACIÓN DE ELOTE (ZEA MAYS) EN LA COMUNIDAD  
DE SAN PEDRO PERALTA, Q.ROO.**

---

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

**PRESENTA**

**ADOLFO PALAFOX GARCÍA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. FERNANDO ENRIQUE FLORES MURRIETA**

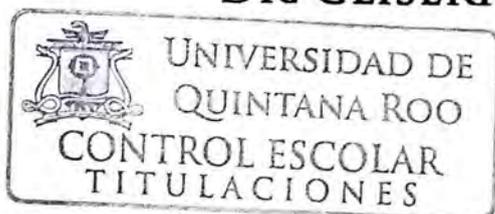
**ASESORES**

**DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ**

**DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**

**DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA**

**DR. GLISERIO ROMELI BARBOSA POOL**





**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO DE TESIS TITULADO**  
**“DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA PARA LA CONSERVACIÓN DE ELOTE (ZEA MAYS) EN LA COMUNIDAD DE SAN PEDRO PERALTA, Q.ROO”**

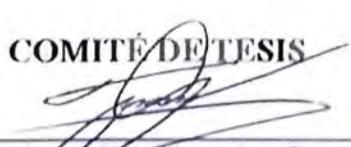
**ELABORADO POR**  
**ADOLFO PALAFOX GARCÍA**

**BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

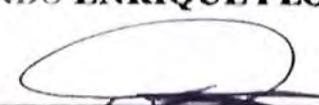
**INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

**COMITÉ DE TESIS**

**DIRECTOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FERNANDO ENRIQUE FLORES MURRIETA**

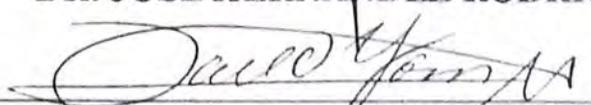
**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. GLISERIO TOMELI BARBOSA POO**



**UNIVERSIDAD DE**  
**QUINTANA ROO**  
**CONTROL ESCOLAR**  
**TITULACIONES**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, ENERO DE 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

**A MIS PADRES:** Quienes, con su esfuerzo, amor, confianza, consejos, lograron sin duda alguna guiarme para conseguir esta meta de superación personal y profesional. En especial a mi madre ya que sin ella no habría podido seguir adelante con mis estudios.

**A MIS HERMANOS:** Que, con sus consejos, actuaron como asesores en algún momento de mi vida de igual forma agradezco sus apoyos económicos brindados en los momentos difíciles.

**A mi tía:** ya que en el momento que menos lo esperaba me brindo su apoyo económico para sustentar gastos en la universidad.

**A MIS MAESTROS:** A cada uno, que, con su dedicación, paciencia, profesionalismo, experiencia, me transmitieron ese conocimiento y me proporcionaron las herramientas necesarias para llegar a esta meta anhelada.

**A MIS AMIGOS** Por compartir todos los momentos felices como estudiantes durante toda la carrera, por apoyarnos y trabajar siempre en equipo. También a mis amigos con los que viví durante estos cinco años.

**AL DR. FERNANDO ENRIQUE:** Quien me proporciono y me dio las herramientas para poder trabajar con este proyecto, que, con su ayuda incondicional, su experiencia y su paciencia no se hubiese podido concretar y finalizar este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Le dedico este trabajo a mi esposa y mi hijo porque supieron ser pacientes estos cinco años que estuve estudiando, ya que ellos son el motor para salir adelante y superarme cada día en lo personal y profesional.

# Índice

Resumen .....	1
Introducción.....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos particulares .....	4
Justificación.....	4
Alcances .....	5
Capítulo I Estado del Arte de la Refrigeración.....	6
1.1 Antecedentes de Refrigeración .....	6
1.1.1 En la prehistoria .....	6
1.1.2 En la antigua Grecia e imperio romano .....	7
1.1.3 El imperio persa.....	8
1.1.4 En el antiguo Egipto.....	9
1.1.5 <i>En la edad media</i> .....	10
1.1.6 En México prehispánico .....	10
1.1.7 En la edad contemporánea.....	11
1.1.8 En el continente africano.....	13
1.2 Producción y consumo de energía en México.....	14
1.2.1 Consumo energético .....	16
1.2.2 Sector agropecuario .....	18
1.2.3 Sector residencial, comercial y público .....	19
1.2.4 Sector transporte .....	20
1.2.5 Sector industrial .....	21
1.3 Tipos de refrigeración .....	24
1.3.1 Refrigeración domestica.....	24
1.3.2 Refrigeración comercial.....	25
1.3.3 Refrigeración industrial .....	25
1.3.4 Refrigeración marina y de transporte.....	26
1.3.5 Aire acondicionado.....	27
1.4 Usos especiales de la refrigeración .....	28
1.4.1 Tratamiento frío de metales.....	28
1.4.2 Pistas de patinaje .....	28
1.5 Sistemas de refrigeración .....	28

1.5.1 Enfriamiento.....	28
1.5.2 Refrigeración .....	29
1.5.3 Congelación .....	29
1.5.4 Criogénico .....	29
Capitulo II Cámaras frigoríficas y sus materiales de construcción.....	30
2.1 Cámara frigorífica.....	30
2.2 Materiales aislantes .....	32
2.3 Breve análisis de las características básicas .....	35
2.3.1 Resistencia a la compresión .....	35
2.3.2 Conductividad térmica y permeabilidad.....	35
2.4 Tipos de puertas usadas en cámaras de refrigeración .....	36
Capitulo III Metodología para diseño de una cámara frigorífica. ....	40
3.1 Método para dimensionamiento .....	40
3.1.1 Refrigeración por compresión mecánica.....	41
3.2 Cálculo de cámaras frigoríficas.....	42
3.2.1 Cálculo de cargas térmicas en refrigeración.....	43
3.2.3 Consideraciones generales.....	44
3.3 Cálculo de las cargas térmicas de la cámara.....	45
3.3.1 Ganancias a través de paredes, techo y suelo ( <b>Q1</b> ) .....	45
3.3.2 Ganancias por la entrada de aire exterior en la cámara ( <b>Q2</b> ).....	54
3.3.3 Calor liberado por la iluminación ( <b>Q3</b> ).....	58
3.3.4 Calor liberado por las personas ( <b>Q4</b> ).....	59
3.3.5 Calor liberado por motores eléctricos ( <b>Q5</b> ).....	60
3.4 Cálculo de las cargas térmicas del producto .....	60
3.4.1 Refrigeración del producto ( <b>Q1</b> ) .....	61
3.4.2 Congelación del producto ( <b>Q2</b> ) .....	62
3.4.2.1 Enfriamiento del producto hasta alcanzar la temperatura de congelación ( <b>Qa</b> ) .....	62
3.4.2.2 Congelación del producto ( <b>Qb</b> ).....	63
3.4.2.3 Enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación ( <b>Qc</b> ).....	63
3.4.3 Calor de respiración del producto ( <b>Q3</b> ).....	64
3.4.4 Calor proporcionado por el embalaje ( <b>Q4</b> ) .....	65
3.5 Calor total de refrigeración .....	66
3.6 Selección de componentes.....	66

3.6.1 Refrigerante .....	66
3.6.2 Compresor .....	67
3.6.3 Selección del evaporador .....	68
Capítulo IV Caso práctico. Calculo y Dimensionamiento de una Cámara de Refrigeración para Elote. .....	70
4.1 Origen del maíz .....	70
4.2 El maíz y su importancia en México. ....	70
4.3 Condiciones de cosecha del elote .....	70
4.4 Temperatura optima de almacenamiento .....	71
4.5 La importancia de la refrigeración.....	71
4.6 Cálculo y dimensionamiento de la cámara de refrigeración para maíz blanco tierno. ....	71
4.6.1 Procedimiento para obtener las dimensiones internas de cámara frigorífica .....	74
4.7 Cálculo de las cargas térmicas de la cámara.....	81
4.7.1 Ganancias a través de paredes, techo ( <b>Q1</b> ).....	81
4.7.2 Ganancias por la entrada de aire exterior en la cámara ( <b>Q2</b> ) .....	87
4.7.3 Calor liberado por la iluminación ( <b>Q3</b> ).....	89
4.7.4 Calor liberado por las personas ( <b>Q4</b> ).....	89
4.7.5 Calor liberado por motores eléctricos ( <b>Q5</b> ).....	90
4.8 Cálculo de las cargas térmicas del producto .....	90
4.8.1 Refrigeración del producto ( <b>Q1</b> ) .....	90
4.8.2 Congelación del producto ( <b>Q2</b> ) .....	91
4.8.3 Calor de respiración del producto ( <b>Q3</b> ).....	91
4.8.4 Calor proporcionado por el embalaje ( <b>Q4</b> ) .....	91
4.9 Resumen General de cargas .....	92
4.10 Ciclo básico de refrigeración, diagrama p-h del R-404a .....	93
4.11 Elección de componentes .....	94
4.11.1Refrigerante .....	94
4.11.2 Unidad condensadora .....	94
4.11.3 Evaporador .....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
Conclusiones .....	104
Recomendaciones .....	105
Bibliografía .....	108

ANEXO A.....	111
ANEXO B.....	120
ANEXO C.....	131

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. El hombre prehistórico viviendo en cuevas.....	7
Figura 1.2. Pozo de Nieve en Alpera (Provincia de Albacete, España).....	8
Figura 1.3. Frigorífico natural denominado “Yakhchal” o pozo de hielo.....	9
Figura 1.4. Vasija para el enfriamiento de agua.....	10
Figura 1.5. Primer refrigerador comercial del mundo, la máquina de amoníaco frío, para la cerveza.....	12
Figura 1.6. Esquema frigorífico “pot in pot” .....	14
Figura 1.7. Estructura de la producción de energía primaria, 2017.....	16
Figura 1.8. Consumo de Energía en Edificios Comerciales.....	17
Figura 1.9. Consumo de Energía en Hospitales.....	17
Figura 1.10. Consumo de Energía en Oficinas.....	17
Figura 1.11. Consumo de Energía en Hoteles.....	17
Figura 1.12. Consumo final energético por sector.....	18
Figura 1.13. Consumo energía en el hogar con Aire Acondicionado.....	23
Figura 1.14. Consumo de energía en el hogar sin Aire Acondicionado.....	23
Figura 1.15. Refrigeración doméstica.....	24
Figura 1.16. Refrigeración comercial.....	25
Figura 1.17. Sistema de refrigeración industrial.....	26
Figura 1.18. Transporte refrigerado.....	27
Figura 2.1. Cámara tipo obra.....	30
Figura 2.2. Cámara prefabricada.....	31
Figura 2.3. Puerta tipo pivotante.....	36
Figura 2.4. Puerta tipo corrediza con cortina hawaiana.....	37
Figura 2.5. Puerta tipo guillotina.....	38
Figura 2.6. Puerta tipo basculante.....	39
Figura 3.1. Métodos de refrigeración.....	40
Figura 3.2. Ciclo básico de refrigeración por compresión mecánica de vapor.....	41
Figura 3.3. Construcción idónea del muro en una cámara frigorífica.....	47
Figura 3.4. Construcción del techo en una cámara frigorífica.....	47
Figura 3.5. Construcción del suelo de una cámara frigorífica.....	48
Figura 3.6. Conductividad térmica de materiales utilizados en la edificación en el Caribe Mexicano.....	50
Figura 3.7. Diagrama psicrométrico para el aire húmedo.....	57

Figura 4.1 Elote blanco.....	72
Figura 4.2. Caja de plástico para almacenamiento de elote.....	73
Figura 4.3 Vista isométrica de la cámara frigorífica. ....	75
Figura 4.4. Vista lateral de la cámara frigorífica para conservación de elote.....	76
Figura 4.5. Vista frontal de la cámara frigorífica para conservación de elote.....	77
Figura 4.6. Plano de la cámara frigorífica, vista de planta y lateral.....	78
Figura 4.7. Estructura de techado tipo domo.....	80
Figura 4.8. Puerta tipo pivotante para cámara de refrigeración.....	84
Figura 4.9. Espesores usuales en puertas para cámaras de refrigeración.....	85
Figura 4.10. Carta psicrométrica.....	88
Figura 4.11 Unidades Condensadoras Optyma.....	93
Figura 4.12. Diagrama p-h del refrigerante R-404A.....	95
Figura 4.13. Nomenclatura de Unidad Condensadora.....	96
Figura 4.14. Rangos de capacidad nominal (Btu/h).....	98
Figura 4.15. Límites de aplicación (Temperatura de evaporación °C).....	98
Figura 4.16. Unidad Condensadora versión D40 (scroll - 2 ventiladores).....	100
Figura 4.17. Evaporador aire forzado serie EVC 5 – 400. ....	102

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Producción de energía primaria (Petajoules).....	15
Tabla 1.2. Consumo de energía en el sector agropecuario (Petajoules).....	19
Tabla 1.3. Consumo de energía en los sectores residencial, comercial y público (Petajoules).....	20
Tabla 1.4. Consumo de energía en el sector transporte (Petajoules).....	21
Tabla 1.5. Consumo de energía en el sector industrial por energético (Petajoules).....	22
Tabla 1.6. Espesor mínimo de aislamiento de acuerdo con el rango de temperatura de transporte.....	27
Tabla 2.1. Características de los principales aislantes.....	34
Tabla 3.1. Función de cada componente y proceso térmico que se desarrolla.....	42
Tabla 3.2. Conductividad térmica de materiales aislantes.....	50
Tabla 3.3. Coeficiente global de transmisión calórica K para materiales aislantes, en W/m <sup>2</sup> K.....	53
Tabla 3.4. Suplementos de temperatura por radiación solar en °C.....	53
Tabla 3.5. Calor del aire en (kJ/m <sup>3</sup> ) para el aire exterior que penetra en la cámara.....	55
Tabla 3.6. Renovación del aire diario por las aperturas de puertas.....	58
Tabla 3.7. Potencia calórica aportada por personas.....	59
Tabla 3.8. Temperatura que se puede tomar de acuerdo con la humedad relativa que se esté utilizando.....	68
Tabla 4.1. Dimensiones y características físicas de las cajas para conservar elotes.....	73
Tabla 4.6. Dimensiones y volumen de la cámara frigorífica.....	77
Tabla 4.3. Superficies de las diferentes estructuras de la cámara frigorífica.....	78
Tabla 4.4. Condiciones de almacenamiento del maíz blanco.....	81
Tabla 4.5. Temperatura promedio exterior, humedad relativa exterior en la ciudad de Chetumal y temperatura al inicio de la refrigeración del elote.....	81
Tabla 4.6. Materiales de construcción de las paredes y sus características.....	82
Tabla 4.7. Materiales de construcción para los techos más comunes en zonas de Quintana Roo.....	86
Tabla 4.8. Resumen general de cargas.....	92
Tabla 4.9. Algunas recomendaciones sobre que tecnología usar.....	97
Tabla 7.10. Unidad Condensadora Scroll con R404A (Media y Alta temperatura).....	99
Tabla 4.11. Modelos para media temperatura (Separación de aletas 5 mm. / Tiro de aire 12 m).....	102

## Resumen

En este trabajo de tesis, se describe el proceso de diseño de una cámara frigorífica para elote (Zae mays) cuya aplicación es de acuerdo con la zona de Quintana Roo y de la región en general.

En principio, se da una explicación sobre la refrigeración, con el objetivo de adentrarnos al tema, se expresa los inicios y como se estuvo aplicando a lo largo del tiempo. Seguidamente se presenta un apartado sobre las cámaras frigoríficas, se muestra las partes que la componen y el sistema de refrigeración aplicado a las cámaras frigoríficas.

Posteriormente, se describe con mayor detalle el proceso de refrigeración aplicado a las cámaras, para entender el funcionamiento de cada una de las partes que la constituyen; una vez obtenido todos los conocimientos básicos, se explica con detalle el cálculo para el diseño de una cámara frigorífica, esto es, la parte matemática, donde se considera todos aquellos factores que intervienen en este tipo de sistemas.

Por último, todos los conocimientos obtenidos y/o adquiridos se plasman en el último apartado, donde se hace un estudio sobre el producto a refrigerar (elote) en la cámara frigorífica. Con este estudio, se diseña la cámara, esto es, las dimensiones, materiales de construcción, elección de cada parte que constituye el sistema de refrigeración. Finalmente, se concluye de manera general los objetivos alcanzados y se proporciona algunas recomendaciones pertinentes, para que la cámara frigorífica opere de la manera más eficiente posible.

## Introducción

En la época de la prehistoria, los animales que habitaban en ese entonces al sentirse moribundos se adentraban por instinto en los rincones más profundos de las cuevas y ahí morían. Al estar alejados de la acción del sol y entre las corrientes de aire que ahí existían, sus cuerpos se secaban sin descomponerse, gracias al frío sostenido de esos lugares. Los primeros hombres se percataron de tal fenómeno y, después de agruparse en rudimentarias formas sociales, lo utilizaron para su provecho. El hombre prehistórico adoptó estas cuevas y comenzó a almacenar grandes trozos de carne para resguardarlos de la acción de los rayos solares.

Los antiguos egipcios descubrieron que la vaporización podía causar enfriamiento, así aprendieron a colocar su vino y otros líquidos dentro de recipientes de barro colocándolos en los techos durante las noches, de tal manera que las brisas frías causaban evaporación y enfriaban el contenido.

El imperio persa (sucesores del imperio babilónico) desarrolló una técnica de almacenar hielo dentro de grandes refrigeradores enfriados naturalmente. Marco Polo (mercader veneciano, siglo XIII) relató este descubrimiento que le resultó muy interesante, se trataba de una construcción cónica muy alta (unos dieciocho metros aproximadamente) en las afueras de Kerman: un frigorífico natural denominado "Yakhchal" o pozos de hielo.

Posteriormente a finales del siglo XIX llega la refrigeración mecánica. Este tipo de refrigeración se basaba en la expansión de un fluido mediante su evaporación

En la década de 1900 se desarrolló la refrigeración industrial mediante el uso de compresores mecánicos. Finalmente, y con el crecimiento de la industria eléctrica, los refrigeradores domésticos se desarrollaron sustituyendo las cajas de hielo, que requerían un bloque por día.

En el sector del comercial, durante el almacenamiento y transporte de los productos, principalmente alimentos perecederos, se producen pérdidas importantes, debido, entre otros factores, al manejo inadecuado de los sistemas de refrigeración.

De acuerdo con lo anterior es de gran importancia el diseño y la selección del equipo de refrigeración adecuado, así como las condiciones de operación y funcionamiento de los diferentes componentes de la unidad refrigerante determinan la eficiencia de la instalación, el estado final del producto para su comercio y los costos de la energía eléctrica consumida.

El objetivo principal de este proyecto es analizar la metodología más apropiada para diseñar de manera óptima una cámara frigorífica, partiendo de la determinación de la carga frigorífica necesaria, para fijar sus dimensiones, la capacidad de la instalación y elección de los componentes del sistema frigorífico para su buen funcionamiento y de esta manera solo utilizar la energía necesaria para la aplicación tratada.

Para poder cumplir con los objetivos, este trabajo se ha dividido en cuatro capítulos que se describen de manera general como sigue:

Capítulo I: Estado del Arte de la Refrigeración. Aquí se presenta los antecedentes históricos de la refrigeración, desde sus inicios hasta el día de hoy, así como algunos ejemplos de dispositivos novedosos, fabricados de manera sustentable. También se habla de la importancia de la refrigeración en los distintos sectores y se dan a conocer el consumo energético nacional.

Capitulo II: Cámaras frigoríficas y sus materiales de construcción. Se describe los tipos de cámaras frigoríficas, tipos de materiales de las cuales están fabricadas y también se describen los tipos de puertas más utilizadas.

Capitulo III: Metodología para diseñar una cámara frigorífica. Se describe ciclo básico de refrigeración por compresión mecánica de vapor, por consiguiente, se desarrolla el método paso a paso, para dimensionar una cámara frigorífica, utilizando el método de balance térmico, a partir de las especificaciones del producto.

Capítulo IV: Caso práctico. Calculo y Dimensionamiento de una Cámara de Refrigeración para Elote. Se realizan los cálculos de la cámara frigorífica siguiendo el procedimiento del capítulo III, haciendo una breve descripción del elote y sus características físicas, así como la selección de los equipos de acuerdo con las ganancias térmicas de la cámara.

Finamente se expresan las conclusiones con respecto a los objetivos planteados, también se dan algunas recomendaciones para el correcto funcionamiento de la cámara.

## Objetivo general

Diseñar una cámara frigorífica tipo obra, para la conservación de elote, en la comunidad de San Pedro Peralta.

## Objetivos particulares

- Cálculo de las necesidades frigoríficas partiendo de las condiciones del producto a refrigerar y del sitio de estudio.
- Dimensionamiento de la instalación y selección de componentes de acuerdo con los cálculos realizados.

## Justificación

San Pedro Peralta es una comunidad agricultora productora de maíz y exportadora de elote tierno, hacia las ciudades de Cancún y Chetumal, los campesinos de la comunidad siembra grandes cantidad de maíz, debido a esto hay una sobre producción, como consecuencia una parte del elote que se cosecha se pasa del punto óptimo de consumo como elote tierno y esta parte del elote no la compran al mismo precio o simplemente lo rechazan, lo que significa perdidas monetarias para los productores.

Cuando el elote se pasa de su punto óptimo para consumirse como elote tierno se deja madura hasta quedar como mazorca y así poder obtener maíz de grano para el consumo de los animales o para otros usos.

El maíz en mazorca para su consumo en grano se caracteriza porque su proceso de cosecha es más caro, debido a que la mazorca se recolecta en los maizales y posteriormente se desgrana, y así obteniendo maíz en grano, por lo tanto, hay más procesos para la cosecha y por consiguiente los costos aumentan, así que resulta más factible venderlo como elote tierno.

## Alcances

Determinar las dimensiones y potencia frigorífica que requiere la cámara a partir de la cantidad de producto a conservar, siguiendo el método de balance térmico y selección de equipo de refrigeración necesario para la misma.

## Capítulo I Estado del Arte de la Refrigeración

### 1.1 Antecedentes de Refrigeración

En cuanto a la historia de la refrigeración, en primer lugar, se debe conocer cómo se define. Se puede decir que la refrigeración es el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura, por debajo de la temperatura ambiente, de un objeto o espacio. Esto se lleva a cabo extrayendo la energía de un cuerpo, energía térmica. La refrigeración implica transferencia de calor, esto transfiriendo la energía del cuerpo que se desea enfriar a una sustancia hasta un medio de disipación [1].

A continuación, se pretende dar a conocer los antecedentes de la refrigeración, desde la prehistoria hasta el día hoy.

#### 1.1.1 En la prehistoria

Los animales prehistóricos al sentirse moribundos se adentraban por instinto en los rincones más profundos de las cuevas y ahí morían. Al estar alejados de la acción del sol y entre las corrientes de aire que ahí existían, sus cuerpos se secaban sin descomponerse, gracias al frío sostenido de esos lugares. Los primeros hombres se percataron de tal fenómeno y, después de agruparse en rudimentarias formas sociales, lo utilizaron para su provecho. El hombre prehistórico adoptó estas cuevas y comenzó a almacenar grandes trozos de carne para resguardarlos de la acción de los rayos solares como se muestra la Figura 1.1. Primero los secaba para eliminar la grasa, y después los cubría con tierra para evitar la rápida putrefacción. Durante los tiempos en que la caza escaseaba, podía obtener alimento de esta reserva de carne [2].



**Figura 1.1. El hombre prehistórico viviendo en cuevas.  
Fuente: Google,2019.**

### 1.1.2 En la antigua Grecia e imperio romano

Los griegos y romanos solían amontonar nieve en hoyos cavados en la tierra que eran aislados con paja y ramas como se observa en la Figura 1.2. La nieve se convertía en hielo y se utilizaba en las épocas de más calor. A medida que se depositaba la nieve dentro de los pozos, se rociaba con agua helada y se cubría con paja y tablas que aislaban el hielo del calor exterior de esta manera conservaban hielo preparado. Esta práctica se extendió por el Mediterráneo donde se siguió utilizando en las zonas más rurales hasta el siglo XX [3].



**Figura 1.2. Pozo de Nieve en Alpera (Provincia de Albacete, España).**  
**Fuente: Wikipedia (2019).**

### 1.1.3 El imperio persa

En cuanto a los persas (sucesores del imperio babilónico) dominaban la técnica de almacenar hielo dentro de grandes refrigeradores enfriados naturalmente. Marco Polo (mercader veneciano, siglo XIII) relató sobre un descubrimiento que le resultó muy interesante, se trataba de una construcción cónica muy alta (unos dieciocho metros aproximadamente) en las afueras de Kerman: un frigorífico natural denominado “Yakhchal” o pozos de hielo [4].

Estas construcciones se basan en el principio de refrigeración por evaporación y contaban de dos partes: el lugar de fabricación y el de almacenaje. El edificio estaba construido siempre en piedra de gran porosidad, que ayudaba a mantener el frescor y favorecía la congelación del agua.

El lugar de almacenaje, llamado Domo, es una especie de cúpula que recuerda al exterior de un panal de abejas como se muestra en la Figura 1.3, cuya base se entierra a cierta profundidad para mantener la temperatura.



**Figura 1.7. Frigorífico natural denominado “Yakhchal” o pozo de hielo.  
Fuente: Ramírez (2015).**

Estos almacenes mantenían el hielo recogido durante el invierno o traído de las montañas durante el verano, se utilizaron en las ciudades de los desiertos de Persia desde el siglo V a.C.

Hoy, muchos de estos “Yakhchal” se mantienen en pie en Irán, listos para hacer hielo o ser visitados.

#### 1.1.4 En el antiguo Egipto

Los egipcios producían hielo llenando de agua vasijas o botijos poco profundas de arcilla para después colocarlas sobre un lecho de paja durante la noche como las que se muestran en la Figura 1.4. La paja impedía el paso del calor de la tierra a la vasija y la poca profundidad de éstas favorecía la pérdida de calor. Si el tiempo era frío y seco la pérdida de calor formaba finas capas de hielo en la superficie.



**Figura 1.8. Vasija para el enfriamiento de agua.**

**Fuente: Google (2019).**

#### *1.1.5 En la edad media*

<<En la India en el siglo IV y durante el periodo musulmán en la Península Ibérica se empezaron a utilizar los primeros métodos artificiales mediante procesos químicos. Mediante el uso de nitrato sódico y nitrato de potasio en el agua se conseguía disminuir la temperatura.

En el siglo XVI Blas Villafranca, un médico español asentado en Roma se dedicaba al enfriamiento del agua y el vino mediante mezclas refrigerantes, pero fue en 1607 cuando se descubrió que, con una mezcla de agua con sal, el agua se podía congelar.>> [3]

#### *1.1.6 En México prehispánico*

En la América precolombina, los emperadores aztecas organizaban grupos de individuos para su servicio exclusivo, que desempeñaban la tarea de traer hielo de los volcanes cercanos al Valle de México hasta la Gran Tenochtlán.

<<Tras el descubrimiento científico mencionado en el siglo XVI, numerosos científicos como Robert Boyle o Philippe Laire empezaron a utilizar mezclas refrigerantes en sus laboratorios. Estos procesos permitieron experimentar a bajas temperaturas hasta que, en 1715 mediante una mezcla de nieve y nitrato amónico, Fahrenheit estableció el cero absoluto de su termómetro.

El farmacéutico y catedrático Antoine Baumé posteriormente formó hielo artificial exponiendo ether al aire. Pocos años después Priestley descubrió las propiedades termodinámicas del amoniaco y el dióxido de carbono como refrigerantes.>> [3]

### 1.1.7 En la edad contemporánea

Durante la colonización norteamericana se construyeron "*casas de hielo*", que proporcionaban almacenaje de este mismo la mayor parte del año. Estas casas de hielo se encontraban normalmente cerca de lagos de agua dulce, ya que estos se cubrían de nieve o hielo durante el invierno [5].

En la primera mitad del siglo XIX, un británico vio el potencial de negocio que podría tener el comercio del hielo, Frederick Tudor exploró otras formas de que el hielo se conservara, construyó casas de hielo aisladas, lo que disminuyó significativamente las pérdidas por derretimiento, por su actividad pionera en la industria del hielo acabaría recibiendo el sobre nombre del "rey del hielo".

Pronto la extracción de hielo de fuentes naturales se convirtió en toda una industria y la refrigeración con hielo se hizo accesible a muchos hogares, por eso el refrigerador recibe también el nombre de nevera pues realmente antes en las casas había una caja de madera llena de hielo o nieve que se iba reponiendo cada día, pero a quien se le ocurrió la idea de la nevera, fue a Thomas Moore en 1800, ingeniero de Maryland en EE.UU, la nevera de Moore no era más que una cuba de madera de cedro llena de hielo y cubierta con piel de conejo, diseñado para el transporte de mantequilla, pero además de la primera patente de la hielera, su mayor contribución a la tecnología del frío es la acuñación de la palabra "refrigeración" [5].

<<En el siglo XIX científicos como Von Karsten, Hanneman, Pfandler y Brendel descubrieron nuevos métodos que permitían disminuir la temperatura hasta los -20°C. Estos métodos, sin embargo, eran discontinuos y de capacidad limitada.

Finalmente llega la refrigeración mecánica. Este tipo de refrigeración se basaba en la expansión de un fluido mediante su evaporación. Aunque los primeros intentos fueron por evaporación de un líquido, en 1805 Oliver Evans diseñó la primera máquina de refrigeración utilizando vapor en lugar de líquido. Pero no fue hasta 1842 cuando el americano John Gorrie diseñó una máquina para refrescar habitaciones de pacientes de fiebre amarilla. El aparato se basaba en el principio de comprimir un gas que lo enfría a través de serpentines y después ampliarlo para bajar la temperatura.

En 1856 el australiano James Harrison, basándose en los refrigeradores de Gorrie, introdujo la refrigeración de compresión a vapor en las industrias cerveceras, que hoy en día sigue siendo utilizada.

A partir de entonces la maquinaria de refrigeración empieza a despegar a un ritmo vertiginoso. En 1859 Ferdinand Carré diseña un sistema más complejo con amoníaco. A partir de entonces surge el transporte refrigerado.>> [3]

Con los hechos mencionados anteriormente dio auge a la refrigeración, y esto surge gracias a la industria cervecera, debido a que era uno de los productos más comercializados, desde la época de las tabernas.

El escritor e historiador técnico Bernard Nagengast dice que, “los primeros productos de refrigeración viables fueron construidos por la cerveza, desarrollados y financiados por la industria cervecera inicialmente y aplicados por la misma, para su elaboración”. Todo esto gracias a un nuevo tipo de cerveza que cautivó a Estados Unidos en el Siglo XIX, “la cerveza rubia”. Llegó en 1840 junto con los inmigrantes alemanes como Frederick Miller y Adolph Coors, pero a diferencia de las cervezas antiguas, la cerveza rubia debía ser elaborada en frío, debido a que era necesario que su proceso de fermentación se abordara de manera gradual y de esa manera, se pudiera controlar el sabor [6].

Los elaboradores de cerveza se interesaron en el trabajo que se estaban realizando con la refrigeración artificial. Muchos pensaron que estaban locos, pero invirtieron dinero en investigación. En 1881, Carl Von Linde inventó el primer refrigerador comercial del mundo el cual se ve en la Figura 1.5, la máquina de amoníaco frío, para la cerveza.



**Figura 1.9. Primer refrigerador comercial del mundo, la máquina de amoníaco frío, para la cerveza. Fuente: Pérez (2013).**

Para los fabricantes, la refrigeración fue la gallina de los huevos de oro, porque una vez que tenían refrigeración, podían fabricar cerveza todo el año. La refrigeración,

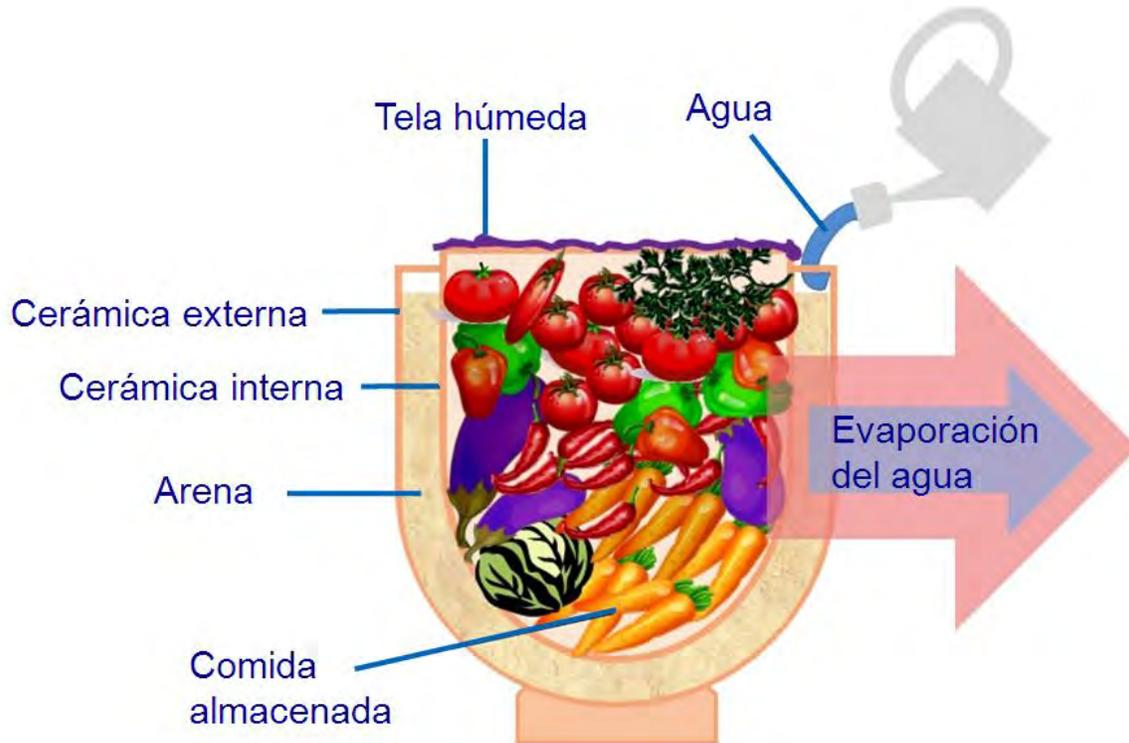
resolvió uno de los problemas más grandes que afligía a la humanidad, el almacenamiento de comida y eso fue posible gracias a la industria cervecera, para millones de personas. La refrigeración significa aire acondicionado, la fabricación y almacenamiento de medicinas.

#### 1.1.8 En el continente africano

Mohammed Bah Abba, un maestro nigeriano en 1995, inventó un "dispositivo", se trata de un refrigerador que no requiere electricidad. De una familia de fabricantes de ollas, Mohammed ha hecho un uso ingenioso y simple de las leyes de la termodinámica para crear el refrigerador pot in pot, llamado Zeer en árabe el cual se puede observar en la Figura 1.6 [7].

Mohammed distribuyó miles de estos dispositivos en las comunidades nigerianas a fines de la década de 1990 (inicialmente de forma gratuita para hacer correr la voz, y luego solo a un precio de costo de producción), y posteriormente ganó el Premio Rolex para empresas en el año 2000.

Su funcionamiento consta de dos ollas de barro, ambas con la misma forma, pero diferentes tamaños, colocando una dentro de la otra. El espacio entre las dos macetas es de arena con agua en la misma cavidad, esto para humedecer la arena. Se colocan los alimentos en la olla interior y son cubiertos con una tapa o un paño húmedo. Solo necesita asegurarse de que el refrigerador pot in pot se mantenga en un espacio seco y bien ventilado; A medida que la humedad en la arena se evapora, extrae el calor de la olla interior, enfriando su contenido. El único mantenimiento requerido es la adición de más agua, aproximadamente dos veces al día.



**Figura 1.10. Esquema frigorífico “pot in pot”.**  
**Fuente: Pinto (2016).**

Cabe aclarar que este tipo de dispositivos operan bajo el principio de funcionamiento de enfriamiento evaporativo. Por lo cual son muy eficientes en climas secos e ineficientes en climas húmedos [8].

A continuación, se dan algunos datos relevantes sobre la producción y consumo de energía en México en distintos sectores, así como algunas graficas que dan información relevante sobre porcentajes de energía que se utiliza para la refrigeración

## 1.2 Producción y consumo de energía en México

El sector energético en México es un elemento clave para el desarrollo económico y político, este impulsa las actividades productivas del país y propicia el beneficio y calidad de vida de las familias mexicanas. La economía mexicana se ha basado en la producción y consumo de hidrocarburos, lo cual se ve reflejado en la generación

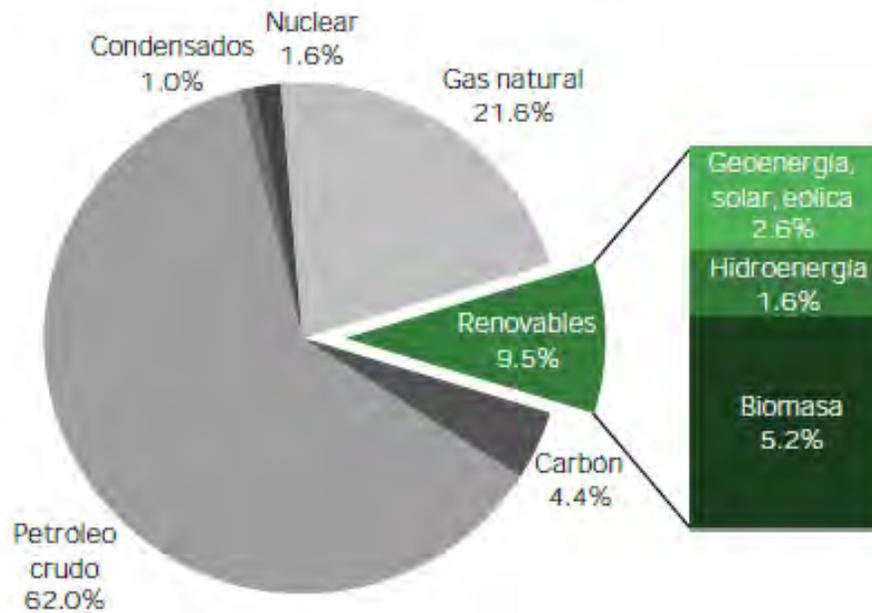
de energía eléctrica a partir de la quema de combustibles fósiles. Esto se muestra en la Tabla 1.1, datos recabados en el 2017, la producción de energía por hidrocarburos fue un 84.6% del total de energía producida en el país [9].

**Tabla 8.1. Producción de energía primaria (Petajoules).**

	2016	2017	Variación porcentual (%) 2017/2016	Estructura porcentual (%) 2017
Total	7,714.13	7,027.22	-8.90	100
Carbón	254.17	308.24	21.28	4.39
Hidrocarburos	6,694.85	5,940.60	-11.27	84.54
Petróleo crudo	4,826.85	4,354.89	-9.78	61.97
Condensados	88.31	67.28	-23.81	0.96
Gas natural	1,779.68	1,518.43	-14.68	21.61
Nucleoenergía	109.95	113.22	2.97	1.61
Renovables <sup>1</sup>	655.16	665.16	1.53	9.47
Hidroenergía	110.51	114.65	3.75	1.63
Geoenergía	132.59	127.43	-3.90	1.81
Solar	11.09	15.16	36.68	0.22
Energía eólica	37.36	38.23	2.33	0.54
Biogás	1.91	2.52	31.94	0.04
Biomasa	361.70	367.18	1.52	5.23
Bagazo de caña	110.14	116.87	6.11	1.66
Leña	251.56	250.31	-0.50	3.56

**Fuente: Sistema Información Energética, Sener (2017).**

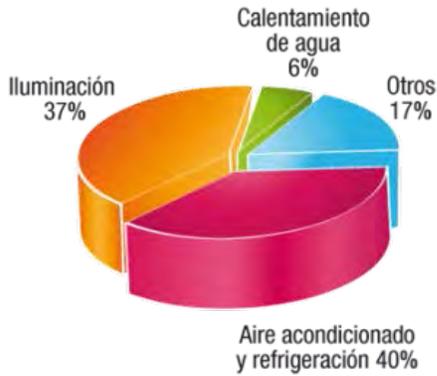
En la Figura 1.7 se muestra la producción de energía primaria, donde se muestra un 9.5 % de energías renovables.



**Figura 1.7. Estructura de la producción de energía primaria, 2017. (Petajoules) Fuente: Sistema Información Energética, Sener (2018).**

### 1.2.1 Consumo energético

En 2016, en México se tenían instalados 16 millones de unidades de aires acondicionados (ACs), y en ese mismo año el volumen de ventas fue de 2 millones de unidades. Se estima que el enfriamiento de espacios a nivel nacional representa aproximadamente 9.8% del uso total de la energía en edificios. En ese mismo año, la Agencia Internacional de Energía (IEA) estimó que la refrigeración de espacios representó alrededor del 10% de la demanda total de electricidad promediada en todos los países. Las proporciones más altas se registraron en los Estados Unidos, donde alcanzó el 16%, Medio Oriente (15%), México (14%) y Japón (10%) [10]. En la Figura 1.8 a la 1.11, se pueden observar el porcentaje de energía que se consume en el área de la refrigeración en distintos espacios a nivel nacional. En la Figura 1.8 se puede observar el mayor consumo de energía de refrigeración y aire acondicionado, esto da hincapié a diseñar sistemas más eficientes, al igual que dimensionarlos de la mejor manera, esto para reducir los consumos de energía eléctrica y directamente lo que significa reducir costos.



**Figura 1.8. Consumo de Energía en Edificios Comerciales.**

**Fuente: Mundohvacr. Generar Eficiencia Energética y confort.**



**Figura 1.9. Consumo de Energía en Hospitales.**

**Fuente: Mundohvacr. Generar Eficiencia Energética y confort.**



**Figura 1.10. Consumo de Energía en Oficinas.**

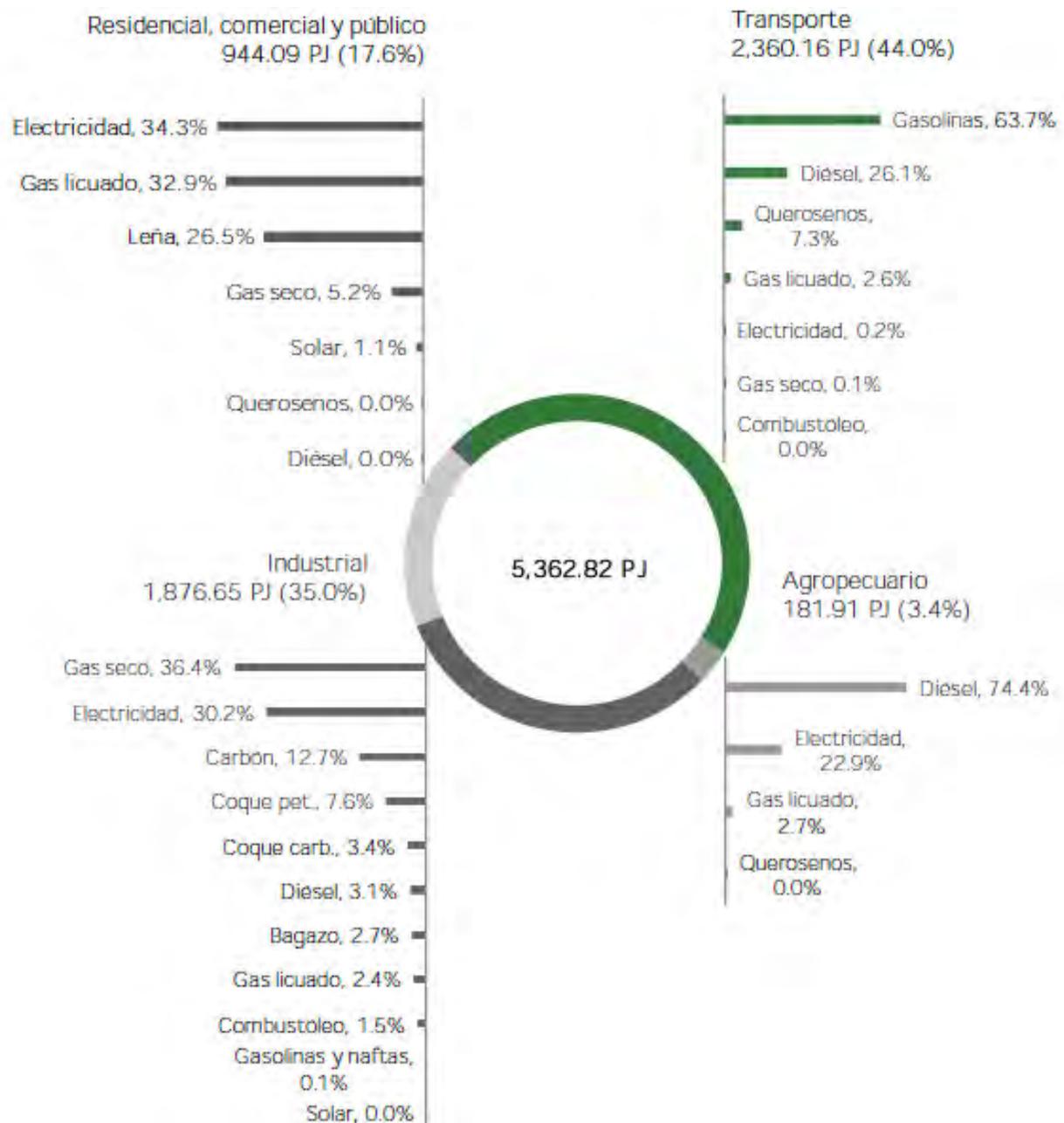
**Fuente: Mundohvacr. Generar Eficiencia Energética y confort.**



**Figura 1.11. Consumo de Energía en Hoteles.**

**Fuente: Mundohvacr. Generar Eficiencia Energética y confort.**

En el año 2017 los sectores en que se desagrega el consumo energético total son: el transporte, que es el sector más intensivo en uso de energía, representando el 44.0%; el industrial, que consumió 35.0%; el residencial, comercial y público con 17.6%; y el agropecuario, con 3.4% (Figura 1.12) [9].



**Figura 1.12. Consumo final energético por sector.**  
**Fuente: Sener (2017).**

### 1.2.2 Sector agropecuario

El consumo de energía en el sector agropecuario fue 181.91 PJ, este aumentó 0.9% en 2017 respecto al año anterior (Tabla 1.2). De los combustibles que se utilizan en este sector, el más importante es el diésel, que representó 74.4% del total de energía consumida [9].

**Tabla 1.9. Consumo de energía en el sector agropecuario (Petajoules).**

	2016	2017	Variación porcentual (%) 2017/2016	Estructura porcentual (%) 2017
Agropecuario	180.26	181.91	0.92	100
Total de petrolíferos	139.45	140.26	0.58	77.10
Gas licuado	5.12	4.96	-3.03	2.73
Querosenos	0.02	0.02	-34.13	0.01
Diésel	134.31	135.28	0.72	74.37
Electricidad	40.81	41.66	2.08	22.90

**Fuente: Sistema Información Energética, Sener (2017).**

### 1.2.3 Sector residencial, comercial y público

El consumo de energía en el sector residencial durante 2017 disminuyó en un 0.7% respecto a 2016, sumando 751.61 PJ (Tabla 1.3). Asimismo, durante este año se observó una disminución de 0.5% en el consumo de leña en hogares.

El consumo de energía en el sector comercial bajo 4.8% respecto a 2016. La electricidad fue la principal fuente de energía con una participación del 49.8% en este sector. El gas L.P. fue el segundo energético que más se utilizó con 39.4%.

El consumo del sector público, el cual considera la electricidad utilizada en el alumbrado público, bombeo de agua potable y aguas negras, que usa electricidad como único recurso energético, disminuyó 7.4% con respecto al año anterior [9].

**Tabla 1.10. Consumo de energía en los sectores residencial, comercial y público (Petajoules).**

	2016	2017	Variación porcentual (%) 2017/2016	Estructura porcentual (%) 2017
<b>Residencial</b>	<b>756.85</b>	<b>751.61</b>	<b>-0.69</b>	<b>100</b>
Solar	6.10	6.42	5.24	0.85
Leña	251.56	250.31	-0.50	33.30
Total de petrolíferos	249.47	246.45	-1.21	32.79
Gas licuado	247.54	246.45	-0.44	32.79
Querosenos	1.92	0.00	-100.00	0.00
Gas seco	37.45	35.48	-5.26	4.72
Electricidad	212.28	212.95	0.32	28.33
<b>Comercial</b>	<b>171.85</b>	<b>163.57</b>	<b>-4.82</b>	<b>21.76</b>
Solar	3.91	3.87	-0.94	0.51
Total de petrolíferos	67.18	64.43	-4.08	8.57
Gas licuado	65.21	64.43	-1.19	8.57
Diésel	1.97	0.00	-100.00	0.00
Gas seco	14.38	13.77	-4.25	1.83
Electricidad	86.38	81.49	-5.66	10.84
<b>Público</b>	<b>31.22</b>	<b>28.92</b>	<b>-7.38</b>	<b>3.85</b>
Electricidad	31.22	28.92	-7.38	3.85

**Fuente: Sistema de Información Energética, Sener (2017).**

#### 1.2.4 Sector transporte

El consumo de combustibles en el sector transporte totalizó 2,360.16 PJ en 2017, 5.0% menor que en 2016. El autotransporte fue el componente más representativo, con 90.0% de participación, por lo que, al disminuir 127.88 PJ impacta fuertemente al consumo de combustibles. Los otros tipos de transporte también presentaron bajas en su consumo, a excepción del aéreo que aumento 4.5%(Tabla 1.4) [9].

**Tabla 1.11. Consumo de energía en el sector transporte (Petajoules).**

	2016	2017	Variación porcentual (%) 2017/2016	Estructura porcentual (%) 2017
<b>Transporte</b>	<b>2,484.95</b>	<b>2,360.16</b>	<b>-5.02</b>	<b>100</b>
<b>Autotransporte</b>	<b>2,252.47</b>	<b>2,124.59</b>	<b>-5.68</b>	<b>90.02</b>
Total de petrolíferos	2,251.35	2,122.38	-5.73	99.90
Gas licuado	60.68	62.41	2.86	2.94
Gasolinas y naftas	1,615.29	1,502.39	-6.99	70.71
Diésel	575.38	557.58	-3.09	26.24
Gas seco	1.12	2.21	97.31	0.10
<b>Aéreo</b>	<b>165.87</b>	<b>173.39</b>	<b>4.53</b>	<b>7.35</b>
Total de petrolíferos	165.87	173.39	4.53	100
Gasolinas y naftas	0.88	0.85	-3.59	0.49
Querosenos	164.98	172.53	4.58	99.51
<b>Marítimo</b>	<b>32.94</b>	<b>29.13</b>	<b>-11.56</b>	<b>1.23</b>
Total de petrolíferos	32.94	29.13	-11.56	100
Diésel	31.95	28.16	-11.86	96.66
Combustóleo	0.99	0.97	-2.11	3.34
<b>Ferrovionario</b>	<b>29.75</b>	<b>29.25</b>	<b>-1.65</b>	<b>1.24</b>
Total de petrolíferos	29.57	29.17	-1.33	99.72
Diésel	29.57	29.17	-1.33	99.72
Electricidad	0.18	0.08	-54.79	0.28
<b>Eléctrico</b>	<b>3.92</b>	<b>3.80</b>	<b>-3.28</b>	<b>0.16</b>
Electricidad	3.92	3.80	-3.28	100

**Fuente: Sistema de Información Energética, Sener (2017).**

### 1.2.5 Sector industrial

El sector industrial es el segundo mayor consumidor de energía en el país. Durante 2017 alcanzó 35.0% del consumo energético total, mostrando un crecimiento de 11.7% respecto al año anterior, para ubicarse en 1,876.65 PJ (Tabla 1.5) [9].

Las industrias que se identifican como las mayores consumidoras de energía, de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), son:

- Industria básica del hierro y del acero;
- Fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas;
- PEMEX Petroquímica;
- Industria química;
- Fabricación de vidrio y productos de vidrio;
- Fabricación de pulpa, papel y cartón;
- Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas;
- Elaboración de azúcares;
- Elaboración de cerveza;

- Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, y purificación y embotellado de agua;
- Construcción;
- Fabricación de automóviles y camiones;
- Fabricación de productos de hule;
- Fabricación de fertilizantes; y
- Elaboración de productos de tabaco.

**Tabla 1.12. Consumo de energía en el sector industrial por energético (Petajoules).**

	2016	2017	Variación porcentual (%) 2017/2016	Estructura porcentual (%) 2017
Total	1,680.74	1,876.65	11.66	100.00
Energía solar	0.56	0.60	6.10	0.03
Bagazo de caña	38.28	49.89	30.35	2.66
Carbón	63.76	237.44	272.39	12.65
Coque total	205.65	206.11	0.22	10.98
Coque de carbón	63.52	63.75	0.37	3.40
Coque de petróleo	142.14	142.36	0.16	7.59
Total de petrolíferos	163.09	132.69	-18.64	7.07
Gas licuado	46.21	45.02	-2.59	2.40
Gasolinas y naftas	1.15	1.17	1.78	0.06
Querosenos	0.00	0.00	0.00	0.00
Diésel	83.16	57.54	-30.81	3.07
Combustóleo	32.57	28.97	-11.05	1.54
Gas seco	647.99	683.23	5.44	36.41
Electricidad	561.40	566.69	0.94	30.20

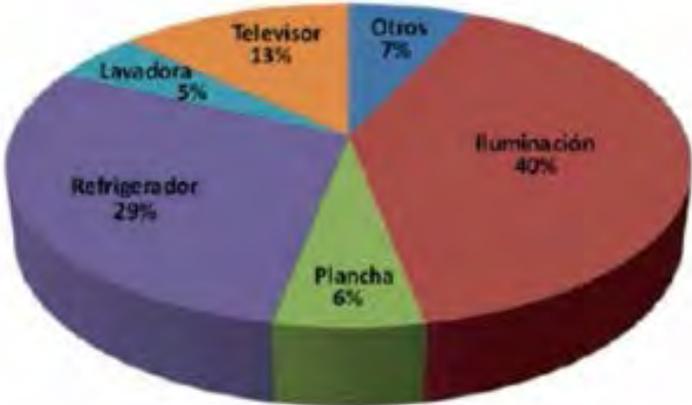
**Fuente: Sistema de Información Energética, Sener (2017).**

Según la base de datos de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, dentro del sector doméstico o residencial, es decir, el hogar promedio en México, en el año 2014, los refrigeradores consumieron un 14 % del total de energía consumida, esto cuando hay instalación de aire acondicionado Figura 1.13 y cuando

no hay aire acondicionado en los hogares la energía total consumida para refrigeración es de 29% como se muestra en la Figura 1.14 [11].



**Figura 1.13. Consumo energía en el hogar con Aire Acondicionado.** Fuente: “Aparatos y espacios que consumen más energía”. Conuee (2014).



**Figura 1.14. Consumo de energía en el hogar sin Aire Acondicionado.** Fuente: “Aparatos y espacios que consumen más energía”. Conuee (2014).

### 1.3 Tipos de refrigeración

En la actualidad existe 5 tipos de aplicación de la refrigeración, los cuales son [12]:

- **Domestica.**
- **Comercial.**
- **Industrial.**
- **Aire acondicionado.**
- **Marina y de transporte.**

#### 1.3.1 Refrigeración domestica

La refrigeración domestica está limitado principalmente a refrigeradores y congeladores domésticos.

Las unidades domesticas generalmente son de tamaño pequeño, teniendo capacidades de potencia entre 40 y 400w como los que se observan en la Figura 1.15.



**Figura 1.15. Refrigeración doméstica.**  
**Fuente: Cuevas (2014).**

### 1.3.2 Refrigeración comercial

La refrigeración comercial se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de unidades de refrigeración del tipo que se tiene en un establecimiento comercial para su venta al menudeo, restaurantes, hoteles e instituciones que se dedican al almacenamiento, exhibición, procesamiento y a la distribución de comercio perecederos de todo tipo, algunos ejemplos de esta refrigeración comercial se pueden observar en la Figura 1.16.



**Figura 1.16. Refrigeración comercial.**  
**Fuente: Cuevas (2014).**

### 1.3.3 Refrigeración industrial

La refrigeración industrial a menudo se confunde con la refrigeración comercial debido a que las diferencias entre estas dos no están claramente definidas. Como regla general, las aplicaciones industriales son más grandes en tamaño que las aplicaciones comerciales como se observa en la Figura 1.17 y la característica que las distingue es que se requiere un empleado para su servicio, que por lo general es un ingeniero. Algunas aplicaciones industriales típicas son plantas de hielo, grandes plantas empacadoras de alimentos, cerveceras, lecheros y plantas industriales, tales como refinerías de petróleo, plantas químicas, plantas de hule, etc.



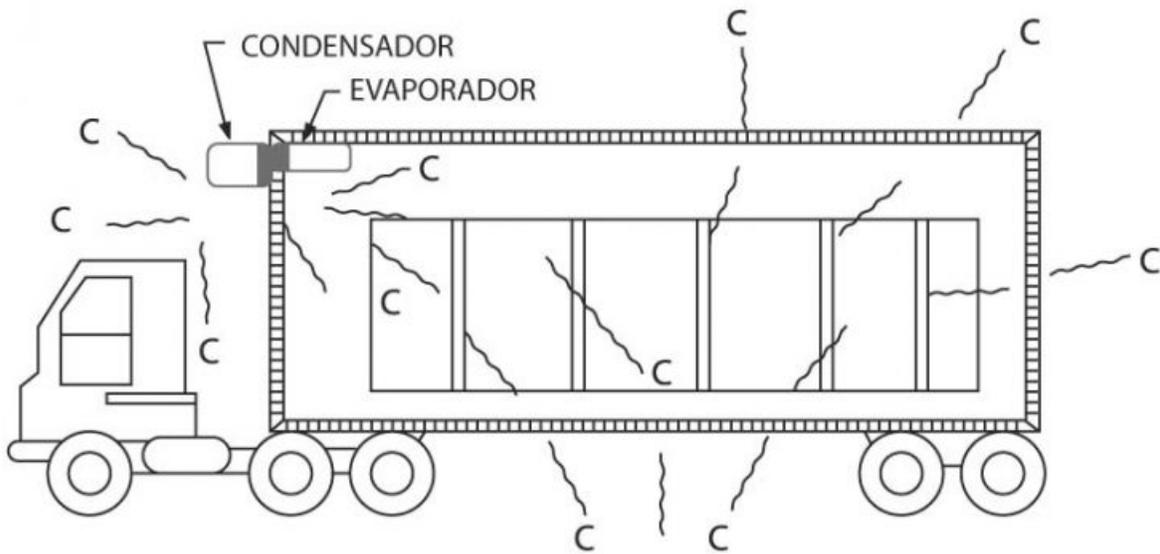
**Figura 1.17. Sistema de refrigeración industrial.**  
**Fuente: Cuevas (2014).**

#### 1.3.4 Refrigeración marina y de transporte

Las aplicaciones que caen dentro de esta categoría se pueden clasificar particularmente bajo refrigeración comercial e industrial. Sin embargo, ambas áreas han crecido lo suficientemente para requerir mención especial.

La refrigeración marina se refiere a refrigeración a bordo de barcos e incluye, por ejemplo, refrigeración para botes de pesca y embarcaciones de transporte y de cargamento sujeto a deterioro, así como refrigeración de los almacenes del barco, en toda clase de embarcaciones.

El transporte refrigerado como se observa en la Figura 1.18, es un sistema de refrigeración mecánico colocado en una caja isotérmica e instalado en una unidad de transporte (unidades thermoking), el cual nos permite bajar la temperatura interior de la caja vacía y mantenerla así de modo permanente, según la temperatura requerida. El transporte refrigerado permite detener el proceso bacteriológico que descompone los alimentos, además de mantener las temperaturas adecuadas para los productos que se requieren trasladar. Generalmente, se caracteriza por poseer una unidad condensadora, evaporador, compresor, motoventiladores, sistema eléctrico, arnés eléctrico, conductos del refrigerante, sistema de control, caja isotérmica [13].



**Figura 1.18. Transporte refrigerado.**  
**Fuente: Revista cero grados. Santana (2018).**

Se puede observar en la Tabla 1.6, para transportar debidamente los productos se tiene que mantener un rango temperatura en el contenedor, requiriendo un espesor de aislamiento adecuado en las paredes.

**Tabla 1.6. Espesor mínimo de aislamiento de acuerdo con el rango de temperatura de transporte.**

<b>ESPESOR MÍNIMO DE AISLAMIENTO BASADO EN EL ASHRAE HANDBOOK REFRIGERACIÓN SYSTEMS AND APPLICATIONS</b>	
<b>TEMPERATURA REQUERIDA</b>	<b>ESPESOR POLIURETANO EXP.</b>
10 a 5 °C (50 a 42 °F)	1 pulgada
4 a -9 °C (39 a 16 °F)	2 pulgadas
-10 a -25 °C (14 a -13 °F)	3 pulgadas
-26 a -40 °C (14 a -13 °F)	4 pulgadas

**Fuente: Revista cero grados. Santana (2018).**

### 1.3.5 Aire acondicionado

El aire acondicionado es la técnica para controlar los factores que afectan las condiciones físicas y químicas de la atmósfera dentro de cualquier espacio

destinado a ocuparse por personas para su comodidad (confort térmico) o bien para realizar procesos industriales.

## 1.4 Usos especiales de la refrigeración

### 1.4.1 Tratamiento frío de metales

Una aplicación de la refrigeración que se extiende rápidamente es el tratamiento frío de los metales. El tratamiento frío a  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ayuda a estabilizar las dimensiones de las piezas y medidores de precisión. Si un acero cementado se somete durante 30 minutos a una temperatura de  $-87\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aumentará su dureza y la resistencia al desgaste. La vida del filo cortante de las herramientas aumenta refrigerándolas a  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 15 minutos.

### 1.4.2 Pistas de patinaje

Los patinadores, jugadores de *hockey* y esquiadores no pueden esperar a que el tiempo atmosférico sea lo suficiente frío para que se hiele el agua de sus pistas, por ese motivo, se colocan tuberías que llevan una salmuera fría, dentro de la pista de arena, sobre la que después se vierte agua, que se solidifica.

## 1.5 Sistemas de refrigeración

Se entiende por sistema de refrigeración los destinados a disminuir el calor de un fluido, producto o espacio, por intercambio calorífico con un refrigerante para reducir su temperatura y lograr así su conservación.

Debido a la gran variedad de productos que hay hoy en día es de suma importancia su conservación para usos posteriores.

La forma de conservar un producto al utilizar un sistema de refrigeración puede ser mediante: Enfriamiento, Refrigeración, Congelación y Criogenia, proceso que dependerá de las características del producto y del tiempo que se desea conservar [14].

### 1.5.1 Enfriamiento

El sistema de enfriamiento opera normalmente con temperaturas que van desde  $+15^{\circ}\text{C}$  hasta los  $0^{\circ}\text{C}$ , en este proceso nunca se presenta un cambio de estado en la sustancia o producto que se maneje y solo se elimina el calor sensible. Sus aplicaciones son muy amplias y se utilizan en productos que requieren conservación y en otros casos, para resaltar algunas características de gusto en algunos productos. como, por ejemplo:

- enfriamiento de bebidas carbonatadas,

- sistemas industriales de enfriamiento,
- enfriadores de productos lácteos,
- acondicionamiento de aire, etc.

### 1.5.2 Refrigeración

El rango de temperaturas en este proceso comprende entre los 0°C hasta los -17°C aproximadamente. En este proceso si hay cambio de estado de los fluidos manejados, y se usa principalmente para mantener al producto conservado en algunas de sus características, por tiempos que van hasta 5 o 6 semanas.

Tiene una gran aplicación en las áreas domésticas, comerciales e industriales. Por ejemplo:

- refrigeradores domésticos,
- cámaras comerciales de refrigeración,
- vitrinas comerciales, etc.

### 1.5.3 Congelación

El rango de temperaturas va desde -18°C hasta -40°C. En este proceso hay un cambio total de estado en casi todos los fluidos manejados y se utiliza para conservar los productos por períodos muy largos.

Un buen sistema de congelación conserva los productos en buenas condiciones por lo menos durante más de un año. Tiene una amplia aplicación en las áreas comerciales, industriales y de investigación.

### 1.5.4 Criogénico

es un proceso que opera desde -40° a valores cercanos al cero absoluto. Su aplicación es muy fuerte en el área industrial y de investigación, también desarrollándose en áreas comerciales. Este proceso trata de la preservación de los productos alimenticios en sus características o condiciones muy críticas.

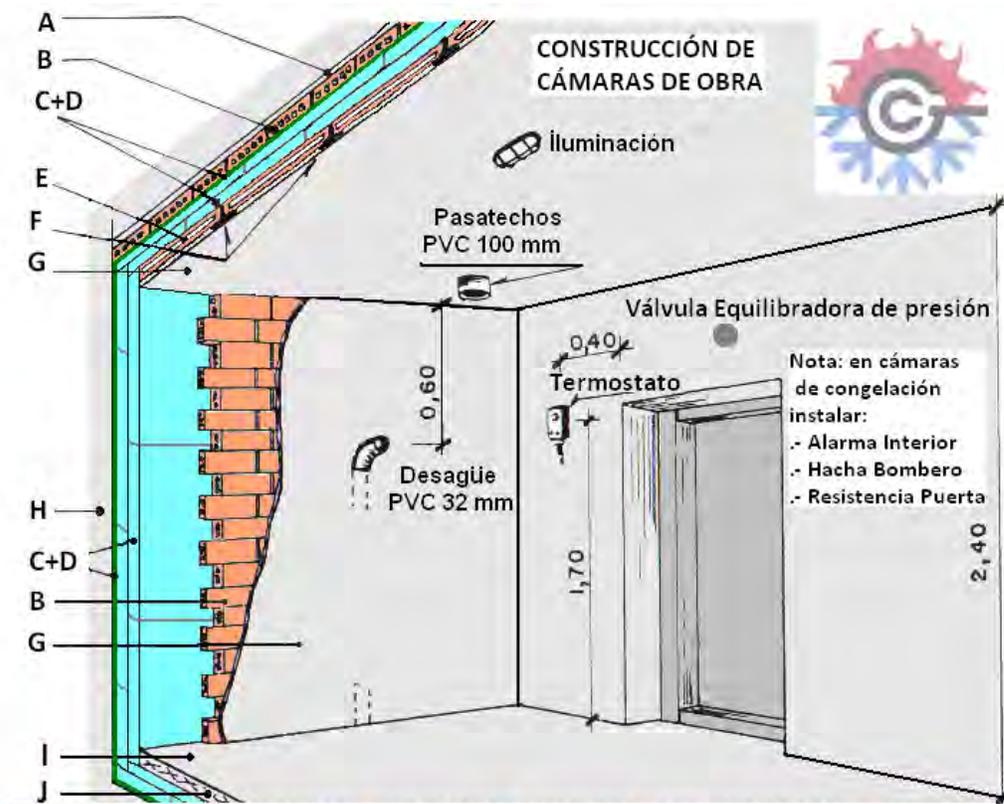
## Capitulo II Cámaras frigoríficas y sus materiales de construcción

### 2.1 Cámara frigorífica

Se entiende por cámara frigorífica, el local construido con material a base de muro compuesto y aislante térmico, destinado a la conservación por medio del frío de productos perecederos [15].

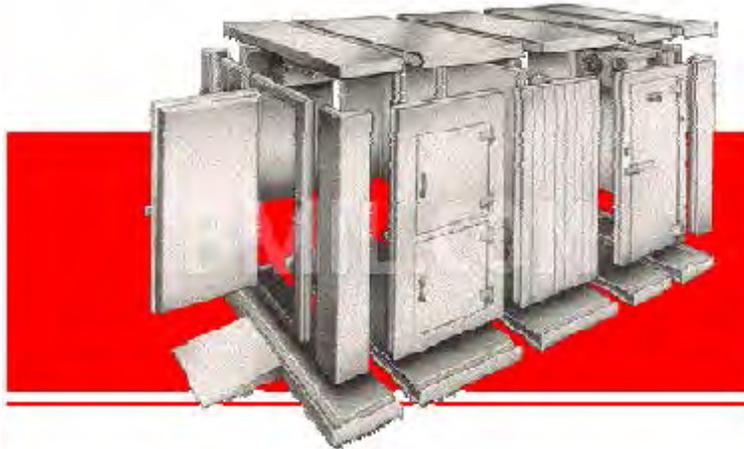
De acuerdo con la estructura física que determina el área a enfriar las cámaras se clasifican [16]:

1. Almacenes frigoríficos de construcción clásica o de obra. Son generalmente del tipo albañilería, con estructura de cemento armado; y pueden ser convenientes cuando la construcción sea realmente proyectada para su uso como cámara de refrigeración.



**Figura 2.1. Cámara tipo obra.**  
**Fuente: Guía básica del frigorista (2010).**

2. Almacenes frigoríficos modulares, desmontables, a base de paneles o elementos prefabricados, varían de acuerdo con el proveedor, los hay disponibles desde almacenes completamente contruidos, los cuales en el lugar de la construcción vienen unidas o tienen elementos prefabricados que simplifican y rinden más rápidamente la construcción sobre el lugar de la instalación.



**Figura 2.2. Cámara prefabricada.**  
**Fuente: Cuevas (2014).**

3. Refrigeradores metálicos o de madera, tipo mueble, de carácter portátil, como neveras domésticas, comerciales, vitrinas, mostradores de productos, conservadores de helados, etc.
4. Depósitos o tanques enfriadores de agua o salmueras, metálicos o de obra para instalaciones para fabricación de hielo, conservación de productos, enfriamiento de líquidos, etc.

El tipo de cámara suele clasificarse en función de dos factores: la temperatura de almacenamiento y el área de aplicación. En función de la temperatura de almacenamiento, nos encontramos con cámaras de [17]:

- Refrigeración ( $T > 0^{\circ}\text{C}$ )
- Congelación ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ )

En función del área de aplicación dependerá del uso al que este destinado, siendo de ámbitos tan diversos como la farmacéutica, industria alimentaria, la floristería, la ingeniería, la investigación científica y hasta en la informática.

No obstante, todos ellos poseen una serie de características o requisitos fundamentalmente basados en el criterio de producir frío necesario de la manera más económica y rentable, con el mínimo de pérdidas. Para conseguir este objetivo será preciso tener en cuenta, principalmente lo siguiente:

- a) Aislantes más empleados en la construcción de cámaras. Estudio de las características básicas de los mismos: conductividad, resistencia mecánica, espesor, etc.
- b) Impermeabilización de la cámara, esto es, impedir la penetración de vapor de agua del aire ambiente, sobre todo en ambientes cálidos y húmedos, ya que ello propiciaría unas mayores diferencias de presión entre el vapor de agua contenido en el aire exterior (caliente) y las bajas temperaturas interiores necesarias.
- c) Los costos de instalación y mantenimiento de las posibles soluciones elegidas para cada caso y el establecimiento de criterios de elección.

## 2.2 Materiales aislantes

Los materiales aislantes utilizados en la industria frigorífica suelen estar constituidos por multitud de celdillas o células que contienen en su interior aire u otros gases en reposo, dando lugar a una conductividad térmica muy pequeña.

La utilización de estos materiales es esencial en las instalaciones frigoríficas, limitando considerablemente la entrada de calor y reduciendo los costes de instalación y funcionamiento de estas.

Las características generales de los materiales aislantes están especificadas en la Tabla 2.1. Según dicha norma “los materiales aislantes se identifican en base a las características de conductividad térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua, absorción de agua por volumen o peso, propiedades de resistencia mecánica a compresión y flexión, módulo de elasticidad, envejecimiento ante la presencia de humedad, calor y radiaciones, coeficiente de dilatación térmica y comportamiento frente a parásitos, agentes químicos y fuego”.

En particular, algunos de los materiales aislantes que se utilizan generalmente en el aislamiento térmico de cámaras frigoríficas son los siguientes [18]:

**Corcho**, bien sea en aglomerado ( $k = 0,039 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ ), expandido ( $k = 0,036 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ ) o en tableros ( $k = 0,042 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ ). Es el material más tradicional ya que, si se instala adecuadamente, se conserva bien durante largo tiempo. Tiene una buena

resistencia mecánica, siendo adecuado para el aislamiento de suelos de cámaras frigoríficas.

**Poliestireno expandido** ( $k = 0'03$  a  $0'057$  W/(m °C)). Material sintético más moderno, más económico y de montaje más simple, es uno de los más utilizados en instalaciones frigoríficas. No debe utilizarse en el aislamiento de suelos, debido a su baja resistencia mecánica. Se suelen presentar en paneles de  $1.20 \times 0.60$  m con espesores de 60, 120 o 140 mm, siendo los de 120 mm los más comunes.

**Espuma de poliuretano** ( $k = 0'023$  W/(m °C) para la mayoría de los tipos). Material sintético económico y de fácil manejo. Puede obtenerse como espuma rígida (poliuretano conformado) o aplicarse en el momento (poliuretano aplicado in situ). Este último método ha sido muy utilizado, ya que la expansión puede realizarse en el interior del molde que se desea aislar. En la actualidad, los paneles prefabricados resultan más baratos y requieren menos mano de obra a la hora de colocarlos. Suele aplicarse únicamente en el intervalo de temperaturas entre  $-30$  °C y  $70$  °C, por lo que no puede utilizarse en túneles de congelación con temperaturas muy bajas ni, por ejemplo, en tuberías de vapor.

**Espuma sólida de vidrio** (foamglas) o **vidrio celular** ( $k = 0'044$  W/(m °C)). Se presenta en bloques rígidos que permiten su utilización como elementos resistentes y de cerramiento, pudiendo ser utilizado en suelos y superficies cargadas. Esto abarata la obra civil de la cámara, ya que sustituye a los materiales tradicionales más su correspondiente aislamiento.

**Fibra de vidrio, lana de vidrio o lana mineral**, cuya aplicación se limita a temperaturas superiores a  $0$  °C. Se distinguen hasta seis tipos, dependiendo de su densidad (desde semirrígidos hasta rígidos), con conductividades entre  $0'033$  W/(m °C) y  $0'044$  W/(m °C). Si no se especifica el tipo, se toma un valor medio de conductividad de  $0'035$  W/(m °C).

**Espuma rígida de poliestireno extrusionado**, con conductividad  $0'033$  W/(m °C), que se comercializa en paneles de  $1'25$  m por  $0'60$  m y espesores de 30 mm, 40 mm y 50 mm, mecanizados a media madera para eliminar el puente térmico que se origina al unir unos con otros.

**Tabla 2.1. Características de los principales aislantes.**

Tipo de materiales	Densidad	Conductividad	Resistencia a la compresión		Permeabilidad (g * cm)/(m2 * día * mmHg)
			Esfuerzo	Deformación	
	kg/m3	W/(m * °C)	kg/cm2	%	
Poliestireno expandido de perlas	10-12	0,0465	0,27	9,9	9
	12-15	0,442	0,51	9,8	4,8
	15-20	0,0384	0,88	9,90	3,8
	20-25	0,0349	1,03	6,6	2,3
	25-40	0,0325	2,5	-	1,5
Poliestireno expandido por extrusión	25-30	0,0337	1,8	6,8	2,25
	30-50	0,0267	3,7	7,6	1
Poliuretano	28-32	0,0232	1,1	8,2	8
	32-40	0,0197	1,6	6,7	4,4
	40-80	0,0197	5,00	4,5	1,8
Espumas fenólicas	27-30	0,0384	3,1	4,7	63,5
	30-50	0,0349	3,5	-	50
	50-150	0,0372	4,3	5,6	44
Corcho	90-110	0,0430	1,5	-	9,2
	110-150	0,0372	2,5	-	4,7
Fibra de vidrio	13-20	0,0476	0,05	-	125
	20-25	0,0372	0,1	-	101
	50-100	0,0360	0,15	-	95
Vidrio celular	100-140	0,0488	3,9	5,5	0
	140-200	0,0500	5,2	6,6	0

**Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. Ramírez (2000).**

En cámaras de congelación se han probado muchos otros materiales, como la fibra de vidrio, o el poliuretano; este último, empleado en aquellos casos en que se necesita una buena elasticidad y adherencia a las superficies metálicas, aplicándose por proyección o rociado en paredes o suelos rasos.

Los principales problemas que presentan las cámaras frigoríficas, si no se tiene cuidado al diseñarlas, son las siguientes:

- Condensaciones por falta de barrera anti-vapor, o por ser defectuosa su colocación.
- Levantamiento de suelos en túneles de congelación.
- Aparición de estalactitas de hielo en los techos.
- Rotura de paredes de grandes dimensiones por falta de fijación de carga o por soportar esfuerzos superiores a su resistencia.

## 2.3 Breve análisis de las características básicas

A continuación, se ve un breve análisis de las características básicas de los aislamientos térmicos, tales como la resistencia a la compresión, conductividad térmica y permeabilidad [18].

### 2.3.1 Resistencia a la compresión

En suelos de las cámaras de congelación es necesario una resistencia importante para los materiales y aislantes, alrededor de  $0.5 \text{ kg/m}^2$ , que pocos materiales la poseen y menos cuando las deformaciones máximas permitidas son del orden del 1%; es conveniente, tener muy en cuenta esta característica al elegir materiales y más cuando se trata de cámaras de grandes dimensiones.

Otro problema que puede aparecer, no imputable directamente a la resistencia mecánica de aislamiento, es el levantamiento del suelo, debido principalmente a la condensación de hielo y que puede resolverse, como ya se explicó, con vacíos sanitarios.

### 2.3.2 Conductividad térmica y permeabilidad

Ante todo, la principal característica que debe poseer un aislante, que lo sea realmente. Por otra parte, se debe tener en cuenta que la transmisión de agua en las cámaras puede ser un problema grave.

Así, estos materiales, además de ser buenos aislantes térmicos, deben de ser muy resistentes al paso de vapor de agua; en su defecto habría que disponer una barrera adecuada al vapor de agua. Esto sucede también en las tuberías o conducciones.

Existen laminados de acero, galvanizados o no, aluminio, poliésteres u otros materiales, que proporcionan aceptables soluciones en este sentido.

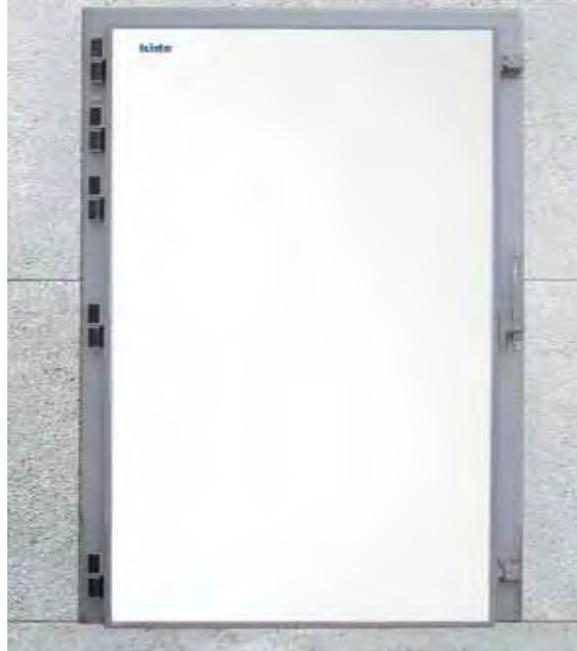
Otro factor importante que hay tener en cuenta son las ganancias de calor por infiltraciones en las puertas de las cámaras frigoríficas, por eso es importante no abrir las puertas demasiadas veces, es conveniente utilizar aditamentos que impidan el paso del aire, como cortinas de hule(hawaianas). De igual forma esto va aunado a la seguridad por lo que es importante agregar una manija de apertura interior o ventanas de cristal en las puertas, esto es recomendable para evitar accidentes.

## 2.4 Tipos de puertas usadas en cámaras de refrigeración

A continuación, se presentan algunos tipos de puertas más usados en las cámaras frigoríficas [19]:

- Pivotantes

Puerta pivotante frigorífica ideal para uso agroalimentario. La puerta pivotante frigorífica de refrigeración, congelación y gran congelación, enfocado a la gama comercial ideal para uso en temperaturas de 0°C a -40°C.



**Figura 2.3. Puerta tipo pivotante.**

**Fuente: Catalogo de Puertas Frigoríficas. Dippanel (2011).**

- Correderas

Puerta corredera frigorífica ideal para uso en cámaras frigoríficas de 0°C a -40°C, apto para el sector Agroalimentario gracias a su robustez. Diseñado para soportar el uso más exigente.



***Figura 2.4. Puerta tipo corrediza con cortina hawaiana.  
Fuente: Catalogo de Puertas Frigoríficas. Dippanel (2011).***

- Guillotina

Puerta de apertura vertical, adecuado para instalaciones donde no existe espacio suficiente en horizontal.



***Figura 2.5. Puerta tipo guillotina.***

**Fuente: *Catalogo de Puertas Frigoríficas. Dippanel (2011).***

- **Basculantes**

Puerta rígida de doble acción vaivén para uso intensivo en ambientes de temperatura positiva. Se instala en hoteles, clínicas, hospitales, restaurantes, cocinas, comercios, agroindustria, supermercados e hipermercados.

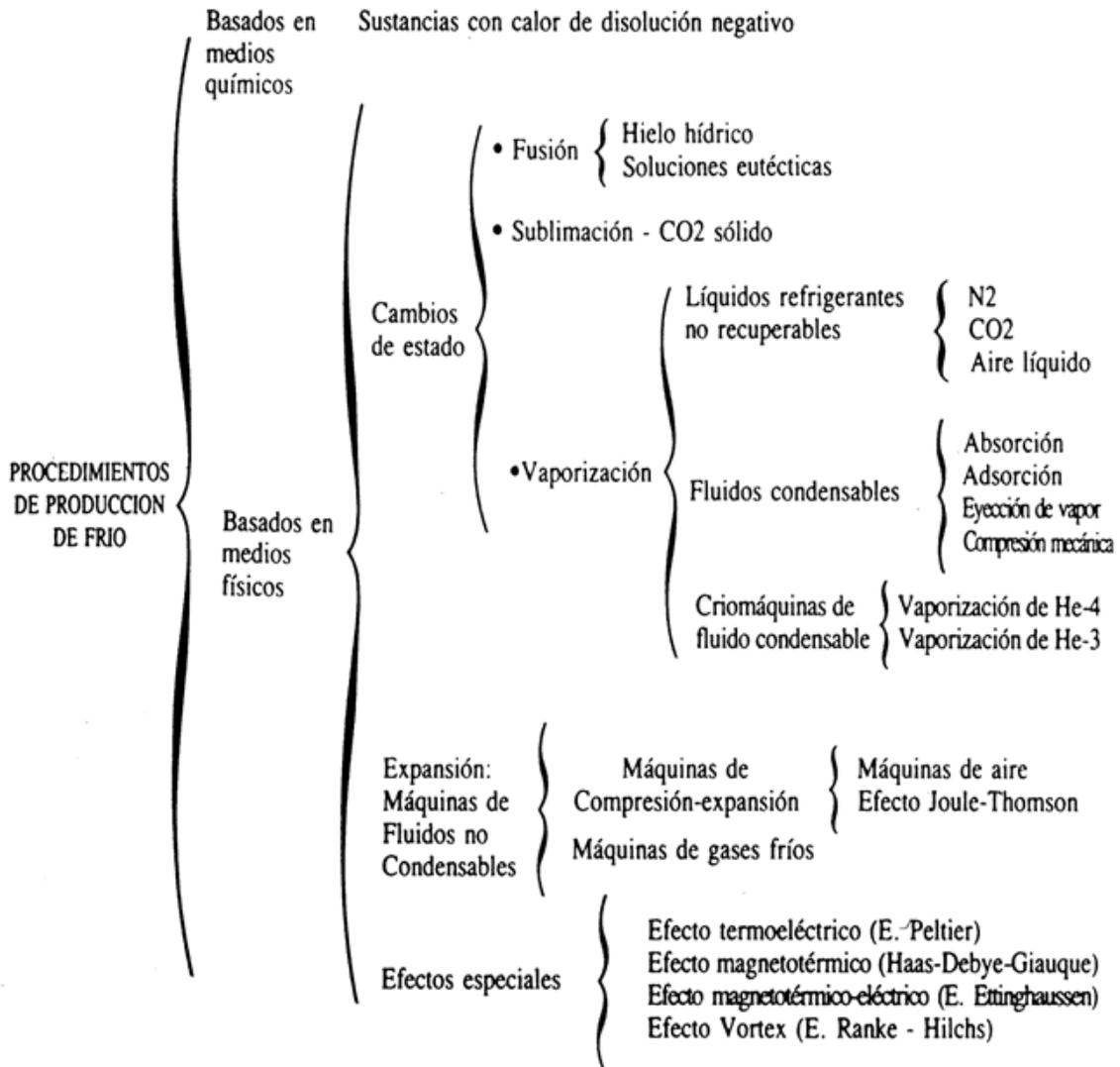


***Figura 2.6. Puerta tipo basculante.  
Fuente: Catalogo de Puertas Frigoríficas. Dippanel (2011).***

## Capítulo III Metodología para diseño de una cámara frigorífica.

### 3.1 Método para dimensionamiento

De los métodos de la Figura 3.1, los más utilizados son los que se basan en la vaporización de fluidos condensables que se recuperan. Los cuales son refrigeración por compresión mecánica y por absorción, por consiguiente, se estudiara la refrigeración mecánica ya que es el método más utilizado.



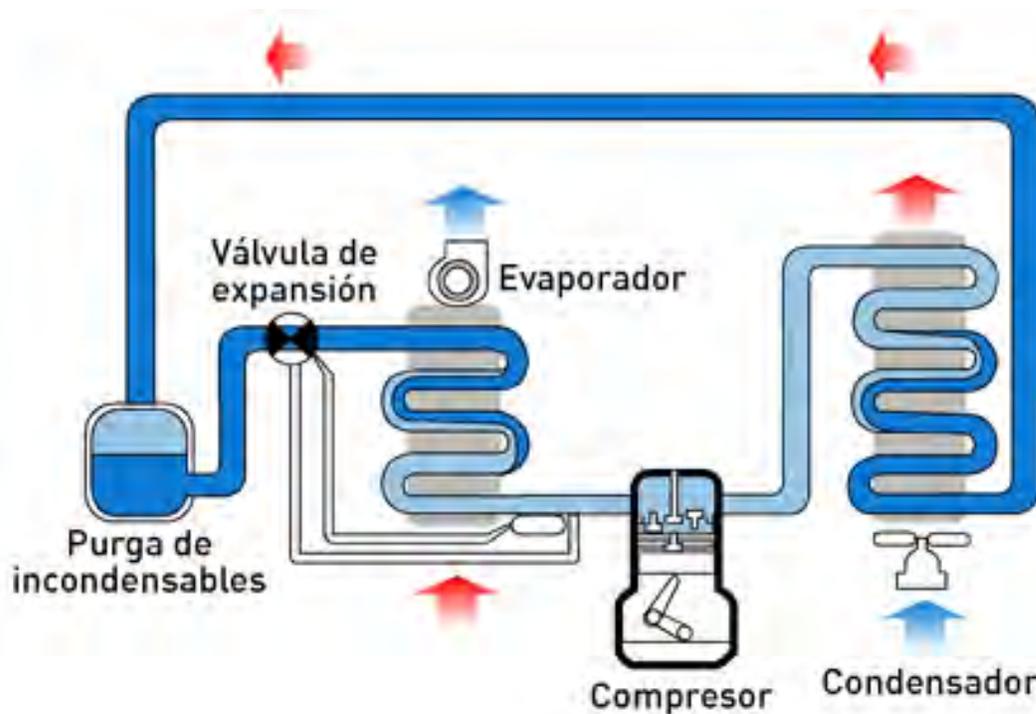
**Figura 3.1. Métodos de refrigeración.**

**Fuente: Apuntes de diseño de cámaras frigorífica. Universidad de Quintana Roo. (Flores Murrieta F, E. 2019).**

### 3.1.1 Refrigeración por compresión mecánica.

En la actualidad el frío se produce principalmente mediante sistemas de refrigeración por compresión mecánica, de forma que el calor se transmite desde la cámara de refrigeración hasta una zona en la que pueda eliminarse más fácilmente. La transferencia de calor se realiza mediante un fluido “refrigerante” que cambia de estado, de líquido a vapor, a una temperatura de ebullición muy baja y con una entalpía o calor latente de vaporización alto. Una vez que el refrigerante está en estado de vapor se comprime mecánicamente (aumentando su presión) de forma que vuelve al estado líquido y vuelve a utilizarse cíclicamente. Se establece así un ciclo termodinámico cuyo límite teórico sería el ciclo de Carnot. El sistema de refrigeración se denomina entonces como sistema de compresión de vapor.

- Componentes básicos de la instalación frigorífica por compresión mecánica. Dichos componentes se muestran en la Figura 3.2. La Tabla 3.1 muestra la función principal de cada componente y el tipo de proceso termodinámico que se desarrolla.



**Figura 3.2.** Ciclo básico de refrigeración por compresión mecánica de vapor.

**Fuente:** Guía básica: Principales componentes y accesorios en la refrigeración industrial. (Solís, L. 2018).

**Tabla 3.1. Función de cada componente y proceso térmico que se desarrolla.**

ORGANO	FENOMENO SIMPLE QUE EN ÉL SE DESARROLLA	FUNCION PRINCIPAL DESARROLLADA
Evaporador	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Ebullición</li> <li>—Transformación del vapor saturado húmedo en vapor saturado seco, hacia el final del evaporador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Hacer absorber al fluido refrigerante el calor del medio a refrigerar.</li> </ul>
Compresor	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Compresión del gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Recuperar el fluido</li> <li>—Llevar al gas, por compresión, a un estado tal que se le pueda quitar el calor absorbido, por medio de un fluido frío.</li> </ul>
Condensador	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Condensación o licuación.</li> <li>—Enfriar el líquido obtenido de la condensación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Llevar el gas al estado líquido quitándole calor y evacuar éste por medio de un fluido frío (agua o aire).</li> </ul>
Válvula de Regulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Laminación o pulverización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Dejar pasar exactamente la cantidad de líquido, correspondiente al volumen de vapor que es capaz de aspirar el compresor.</li> </ul>

*Fuente: Guía básica: Principales componentes y accesorios en la refrigeración industrial. (Solís, L. 2018).*

### 3.2 Cálculo de cámaras frigoríficas

Además de los cálculos puramente constructivos, el proyecto de una cámara o un almacén frigorífico requiere:

- Cálculo de las dimensiones en función de la capacidad de almacenamiento previsto y del tipo de producto a conservar.
- Determinación del espesor de aislamiento necesario, en función de las temperaturas externa e interna, así como del material aislante elegido.
- Cálculo de las necesidades frigoríficas, según sean las pérdidas y ganancias (cargas) de calor.
- Elección del equipo más adecuado.

### 3.2.1 Cálculo de cargas térmicas en refrigeración

Se denomina carga de enfriamiento o de refrigeración a la velocidad con la que es preciso retirar calor desde un recinto para bajar su temperatura hasta un valor deseado. El cálculo de las cargas térmicas se utiliza para estimar las necesidades de frío por día (MJ/día), y así poder dimensionar la maquinaria frigorífica necesaria para producir frío a partir de energía eléctrica.

Dicha velocidad tendrá unidades de energía por unidad de tiempo, y suele expresarse en: kW, kJ/día, kcal/día, kcal/h, etc. También es frecuente denominar “frigoría” a la kilocaloría cuando el calor es extraído.

Precisamente, el punto de partida para el diseño de cámaras frigoríficas es evaluar sus necesidades o “cargas” de refrigeración, pudiendo así establecer cuál será el equipo frigorífico más adecuado para compensar dichas ganancias de calor (pérdidas frigoríficas). Evidentemente dicha carga puede ser variable a lo largo del tiempo, por ello se suele realizar una estimación de las necesidades máximas.

Por otro lado, hay que considerar la necesidad de efectuar el desescarche de los evaporadores y por esta razón, la potencia frigorífica de la máquina deberá ser determinada para una operación menor a 24 horas por día. En este sentido, es típico en las cámaras frigoríficas con temperaturas superiores a 0°C, estimar la duración horaria de funcionamiento de los equipos de refrigeración en 16 horas diarias, lo cual, supone un tiempo suficiente de 8 horas diarias para efectuar el “desescarche” del evaporador, por el método más conveniente.

Para cámaras frigoríficas con temperaturas negativas (< 0°C), el tiempo de funcionamiento suele estimarse en 18 horas diarias. El tiempo restante será suficiente para efectuar el “desescarche” con aporte suplementario de energía, si hace falta.

En este trabajo se da una metodología para determinar la carga de refrigeración en un equipo, también denominada carga de enfriamiento, y es el resultado de las cargas térmicas que provienen de diferentes fuentes y afectan directamente a una cámara frigorífica. La determinación de dicha carga se realiza mediante un “balance térmico”. La carga de refrigeración tiene por objeto establecer la capacidad del equipo de refrigeración a partir de las cargas térmicas que deben absorberse en el evaporador.

### 3.2.3 Consideraciones generales

Para mantener fría una cámara y todo lo que está contenido en ella, es necesario extraer el calor inicial y después el que pueda ir entrando en la cámara, por bien aislada que esté. El requerimiento total de refrigeración ( $\dot{Q}_{total}$ ), puede establecerse como sigue:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{productos} + \dot{Q}_{otras\ fuentes} \quad (3.1)$$

Para estos términos pueden emplearse como unidades **W o KW o Kcal/h** donde:

$$\dot{Q}_{productos}$$

Representa los sumandos necesarios que tienen en consideración la carga térmica a eliminar procedente del calor sensible, del calor latente de solidificación, de las reacciones químicas, del embalaje y del calor absorbido para la congelación del agua de los alimentos o productos que se desea refrigerar.

$$\dot{Q}_{otras\ fuentes}$$

Incluye entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelo y el techo, la refrigeración para el aire exterior que se introduce, la ventilación, las cargas térmicas debidas a ventiladores, bombas, iluminación eléctrica y el calor de las personas que manipulan los productos [21].

Como el calor generado en las 24 horas de un día se ha de extraer en un número de horas menor, en las  $t$  horas de funcionamiento diario, la potencia frigorífica de la maquinaria  $N_R$  habrá de ser superior a la potencia  $\dot{Q}_{total}$  calculada para entrar en las 24 horas. Su valor será:

$$N_R = \dot{Q}_{total} * \frac{24}{t} \quad (3.2)$$

Para optimizar las dimensiones y características técnicas de un evaporador y de una instalación frigorífica, en general es necesario considerar, como ya se ha comentado, los siguientes factores:

- Flujo de calor a través de paredes y envolvente.
- Entrada de aire exterior en la cámara.
- Calor liberado por la iluminación interior.
- Calor liberado por las personas.
- Calor de los ventiladores del evaporador, si los hay, para la circulación forzada del aire.

Todos estos factores hasta aquí considerados constituirían el sumando de <<otras fuentes>>, mientras que los que a continuación se presentan serán el sumando <<productos>>:

- Refrigeración de alimentos en distintas etapas.
- Calor de respiración de frutas y verduras.
- Calor del embalaje.

Aunque es habitual trabajar con modelos pautados que incluyen la totalidad de estos factores que en cada caso en particular deberán o no considerarse, se determinarán los criterios de evaluación de cada uno de ellos para la obtención del calor total anteriormente establecido.

### 3.3 Cálculo de las cargas térmicas de la cámara

Se comenzará con el cálculo de ganancias de calor por otras fuentes ( $\dot{Q}_{otras\ fuentes}$ ).

Éstas incluyen:

$$\dot{Q}_{otr.fuentes} = \dot{Q}_{1:pared,techo} + \dot{Q}_{2:aire\ ex.} + \dot{Q}_{3:ilum.} + \dot{Q}_{4:pers.} + \dot{Q}_{5:motores}$$

**(3.3)**

Donde:

1.  $\dot{Q}_1$ : Ganancias a través de paredes, techo y suelo.
2.  $\dot{Q}_2$ : Ganancias por la entrada de aire exterior en la cámara.
3.  $\dot{Q}_3$ : Calor liberado por la iluminación.
4.  $\dot{Q}_4$ : Calor liberado por las personas.
5.  $\dot{Q}_5$ : Calor liberado por motores eléctricos.

#### 3.3.1 Ganancias a través de paredes, techo y suelo ( $\dot{Q}_1$ )

Las ganancias a través de paredes, techo y suelo dependen de tres factores importantes:

- 1) Superficie total exterior de la cámara.
- 2) Aislamiento empleado.
- 3) Diferencia de temperatura entre el ambiente exterior donde está instalado la cámara frigorífica y la temperatura de diseño o la que debe obtenerse en el interior del sistema.

El calor transmitido (flujo de calor) a través de una superficie (pared y techo generalmente) de cierto espesor y en cuyos lados existen temperaturas  $t_e$  y  $t_i$  ( $t_e > t_i$ ) está dado por la ecuación matemática:

$$\dot{Q}_1(\text{para paredes, techo y suelo}) = K * A * (\Delta t + t') \quad (3.4)$$

Dónde:

$\dot{Q}_1$  = Ganancias por paredes, techo y suelo en W.

$K$  = Coeficiente global de transmisión de calor en  $W/m^2\text{°C}$ , obtenido del material constructivo y el aislante utilizado en la cámara frigorífica.

$A$  = Área total de las superficies en  $m^2$  (paredes, techo o suelo).

$\Delta t$  = Salto térmico en la cámara en  $\text{°C}$  ( $t_e - t_i$ ).

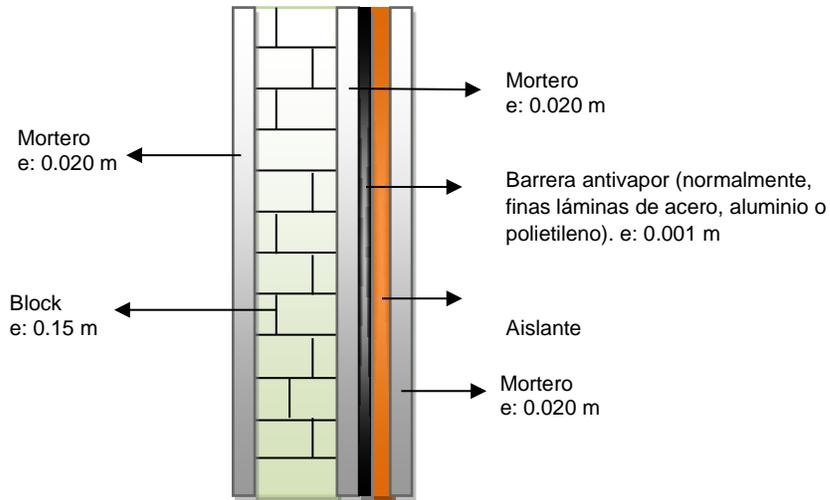
$t'$  = Suplemento de temperatura de la pared en  $\text{°C}$ .

Cuando se realizan los cálculos prácticos, se tienen que calcular por separado las ganancias a través de las paredes, del techo y del suelo, ya que la construcción de cada elemento puede variar. Al final se hace una sumatoria para obtener el total de  $\dot{Q}_1$ . A continuación, se explica más a detalle cada elemento para de esta forma entender mejor lo anteriormente expuesto.

Se hablará primeramente del coeficiente global de transmisión de calor  $K$  ( $W/m^2\text{°C}$ ). Este coeficiente se obtiene de los materiales aplicados en la construcción de la cámara y del aislante térmico que se utilizará en el interior de esta. Para el cálculo, es importante definir cuáles son los materiales que componen la superficie de ganancia de calor.

La superficie de una cámara frigorífica debe poseer las mejores condiciones de diseño para que esto permita las menores ganancias de calor en el interior y la energía se utilice en su mayoría para enfriar el producto. Para la superficie de un muro o pared en una cámara frigorífica, lo más idóneo es la construcción mostrada en la Figura 3.3, donde se aprecia que está compuesta por las siguientes capas: **mortero; block; mortero; barrera antivapor; aislante; mortero.**

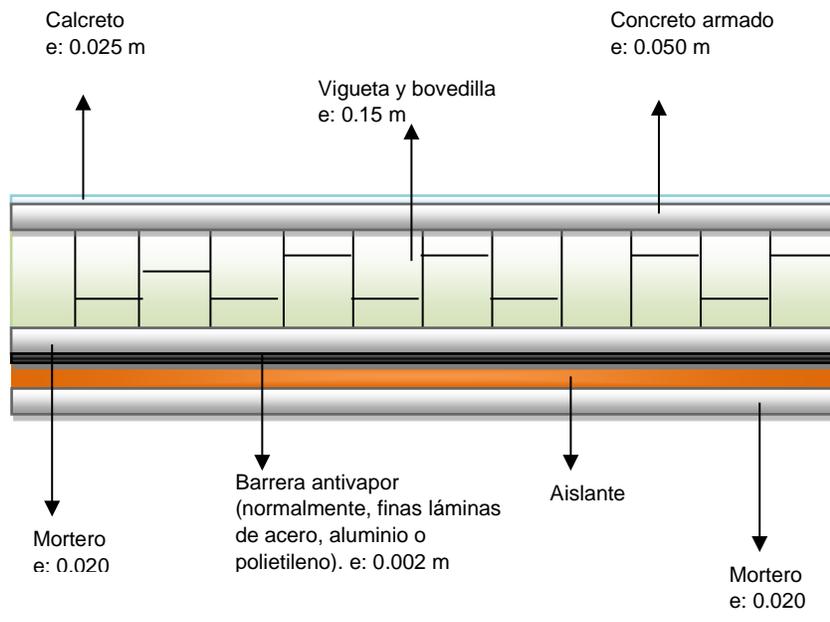
En aplicaciones reales, suele omitirse la barrera antivapor por ser costosa, sin embargo, es importante aplicarla. En la Figura 3.4 se aprecia la construcción del techo de una cámara frigorífica, el cual está compuesto por las siguientes capas: **calcreto; concreto armado; vigueta y bovedilla; mortero; barrera anti-vapor; aislante; mortero.**



**Figura 3.3. Construcción idónea del muro en una cámara frigorífica.**

**Fuente: Cámaras Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño. (May López J, R. 2013).**

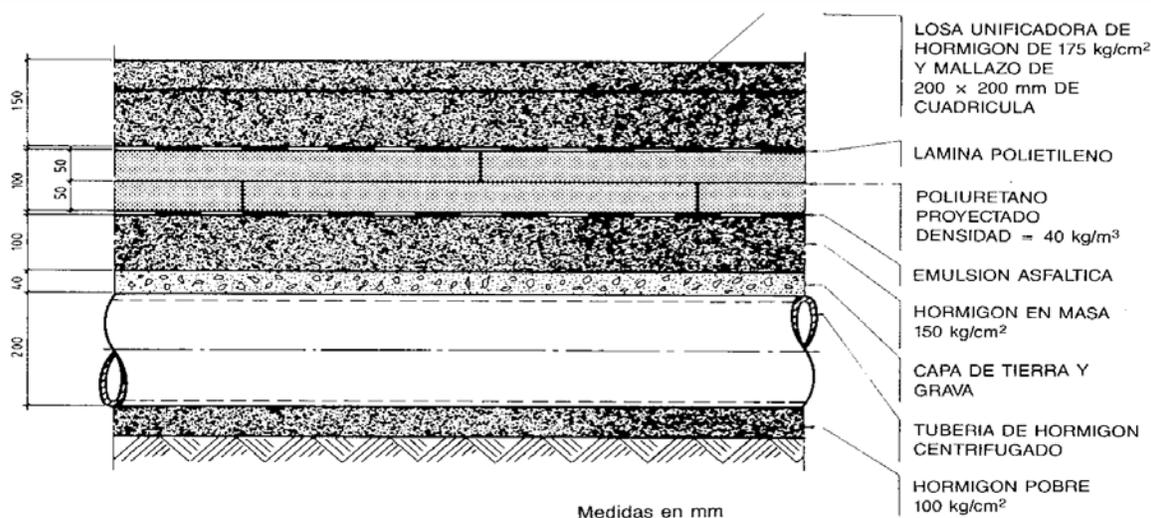
El *mortero* es la capa constructiva que en la zona es comúnmente llamada como *revoco*, el cual está compuesto por *cemento-polvo*; el *calcreto* es utilizado para evitar que el agua filtre en el techo de las construcciones el cual se compone de *cemento-cal-polvo*; el *concreto armado* está compuesto de *cemento-polvo-grava*.



**Figura 3.4. Construcción del techo en una cámara frigorífica.**

**Fuente: Cámaras Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño. (May López J, R.2013)**

Es importante tomar en cuenta el piso o suelo de una cámara frigorífica, ya que es posible que se piense que no hay ganancias a través de él, sin embargo, si no se aísla éste, es posible que haya ganancias importantes en esta superficie sobre todo si el piso de la cámara es el techo de una planta baja. En la Figura 3.5 se puede observar la construcción recomendable del piso de una cámara frigorífica, sin embargo, los materiales pueden variar de los implementados en la región.



**Figura 3.5. Construcción del suelo de una cámara frigorífica.**

**Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).**

Ahora bien, es esencial definir que material aislante se aplicará al cuarto frigorífico y calcular el espesor de este. El espesor del aislante se calcula de la siguiente manera:

$$q = K(T_e - T_i) \tag{3.5}$$

Dónde:

$q$  = Perdidas máximas admisibles en W/m<sup>2</sup>.

$K$  = Coeficiente global de transmisión de calor en W/m<sup>2</sup>°C.

$T_e - T_i$  = Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la cámara frigorífica.

Sabiendo que:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \sum \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{1}{h_e} \quad (3.6)$$

Si se desprecia  $h_1$  y  $h_e$  de la ecuación 3.6 y sólo se considera la resistencia térmica del material aislante, se obtiene:

$$\frac{1}{K} = \frac{e}{\lambda} \quad (3.7)$$

Si se despeja  $K$  de la ecuación 3.7 y se sustituye en la ecuación 3.5, se obtiene:

$$q = \frac{\lambda}{e} (T_e - T_i) \quad (3.8)$$

Por último, para hallar el espesor del aislante se despeja  $e$  de la ecuación 3.8 y se tiene que:

$$e = \frac{\lambda(T_e - T_i)}{q} \quad (3.9)$$

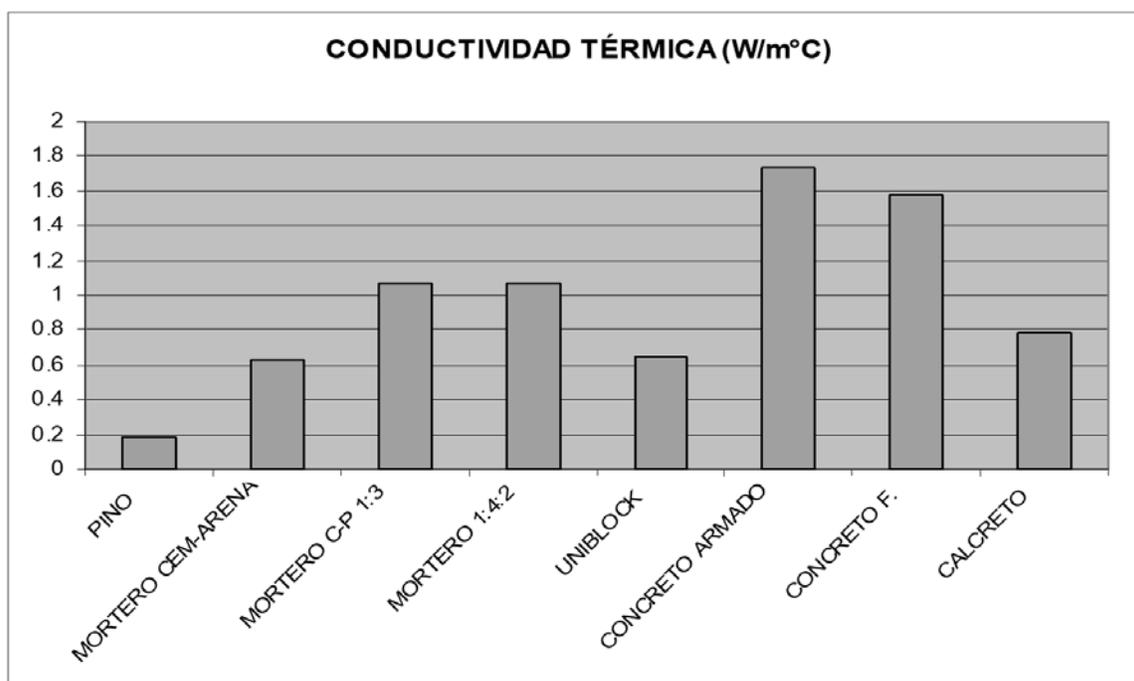
Donde  $\lambda$  es la conductividad térmica del material aislante.

Normalmente los valores de  $q$  se definen de acuerdo con la aplicación que se esté tratando, estos valores son los siguientes [19]:

$$\begin{aligned} q &= 8 \text{ W/m}^2 \text{ para conservación} \\ q &= 6 \text{ W/m}^2 \text{ para congelación} \end{aligned}$$

Hasta este punto ya se conocen los materiales y el espesor de cada elemento que componen una pared o techo en una cámara frigorífica. Otro punto para considerar son las conductividades térmicas de los materiales aplicados en la construcción de la cámara. Hablando de la región Chetumal específicamente, según datos recabados por May López J, R (2013), sobre conductividades térmicas de

materiales empleados para la construcción de edificaciones en la región (estos materiales son los utilizados en la cámara frigorífica de este estudio). En estos datos recabados se reportan conductividades térmicas de los materiales empleados en las edificaciones que difieren a los proporcionados por las normas, ya que son materiales hechos en lugares y condiciones distintas. En la Figura 3.6 se muestran las conductividades térmicas de los materiales que se utilizan en la región (mortero cemento-polvo 1:3, el utilizado). En el **Anexo B-1** se pueden obtener las conductividades térmicas de otros materiales que pueden ser empleados también en las construcciones de estos sistemas.



**Figura 3.6** Conductividad térmica de materiales utilizados en la edificación en el Caribe Mexicano.

**Fuente:** Cámaras Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño. (May López J, R.2013)

Para el caso de las conductividades térmicas de los materiales aislantes aplicados en las cámaras frigoríficas se pueden tomar las especificadas en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Conductividad térmica de materiales aislantes.**

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad (W/mK)
Poliestireno expandido	De 10 a 12	0.047
	De 12 a 15	0.044
	De 15 a 20	0.038
	De 20 a 25	0.035
	De 25 a 30	0.033
Poliestireno extruido	De 25 a 30	0.034
	De 30 a 50	0.027
Poliuretano	De 28 a 32	0.023
	De 32 a 40	0.02
	De 40 a 80	0.02
Espumas fenólicas	De 27 a 30	0.038
	De 30 a 50	0.035
	De 50 a 150	0.037
Corcho	De 90 a 110	0.043
	De 110 a 150	0.037
Fibra de vidrio	De 13 a 20	0.048
	De 20 a 50	0.037
	De 50 a 100	0.036
Vidrio celular	De 100 a 140	0.049
	De 140 a 200	0.05

**Fuente: Monografías de climatización y ahorro energético: Cámaras frigoríficas. "aislamiento de la carga" (Miranda, 1996).**

Ahora ya se cuenta con todos los elementos necesarios para calcular el coeficiente global de transmisión de calor (**K**). Se aplica la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{h_i}} \quad (3.10)$$

Dónde:

**K** = Coeficiente global de transmisión de calor en W/m<sup>2</sup>°C.

**e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, e<sub>3</sub>** = Espesores de los materiales constructivos y del material aislante aplicado en metros.

**λ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub>, λ<sub>3</sub>** = Conductividad térmica de los materiales constructivos y del material aislante de la instalación en W/m°C.

$h_e, h_i$  = Convección exterior e interior.

El coeficiente  $1/h$ , denominado resistencia superficial, presenta un valor variable en función del sentido del flujo, pero puede utilizarse un valor aproximado de 0,11 ( $m^2\text{°C}/W$ ) [19].

En aplicaciones reales, se deben calcular por separado los coeficientes globales de transmisión de calor ( $K$ ) para las paredes, el techo y el suelo, ya que como se mencionó anteriormente, las paredes cuentan con cinco capas (mortero; block; mortero; aislante; mortero), mientras que el techo y el suelo difieren, ya que pueden tener uno o dos materiales más. De esta manera se tendrán tres  $K$  distintas, por lo tanto habrá tres diferentes resultados, uno aplicando la  $K$  correspondiente para paredes, otro para el techo y otro para el suelo en dado caso que el suelo se considere aislarlo, al final se debe hacer una sumatoria para obtener la ganancia total  $\dot{Q}_{1(paredes,techo\ y\ suelo)}$ .

Si en dado caso se requiere conocer solo el valor del coeficiente global de transmisión de calor del material aislante se puede recurrir a la Tabla 3.3, donde se puede encontrar definido el  $K$  de acuerdo con el espesor calculado del material aislante a utilizar.

Otro concepto importante, es el suplemento de temperatura  $t'$ , este suplemento de temperatura suele suprimirse en la práctica, se suprime debido a que no hay ganancias solares en las superficies de la cámara. En las paredes expuestas al sol, tendrán más ganancias aquellas que sean de colores oscuros, dado a que los colores oscuros absorben el color con más facilidad, en dado caso que la cámara este expuesta al sol se recomienda que su superficie exterior sea colores claros, ya que estos tienden a reflejar la radiación solar. En la Tabla 3.4 se muestra el suplemento de temperatura de acuerdo con la orientación de cada uno de los muros que componen la cámara frigorífica y que pueden servir como base en los cálculos.

**Tabla 3.3 Coeficiente global de transmisión calórica K para materiales aislantes, en W/m<sup>2</sup> K.**

Materiales aislantes	Masa volumétrica (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor del aislante (mm)									
		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Placas de corcho aglomerado	112	1,8	0,92	0,62	0,48	0,37	0,31	0,26	0,23	0,2	0,1
	144	2,1	1,05	0,70	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,2
Placas de corcho aglomerado húmedo	192	2,45	1,22	0,82	0,61	0,49	0,41	0,35	0,31	0,27	0,2
Corcho granulado con granulación gruesa	80-112	2,45	1,22	0,82	0,61	0,49	0,41	0,35	0,31	0,27	0,2
Placas de corcho expandido	80-96	1,95	0,97	0,65	0,49	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,1
Lana de vidrio	80	1,65	0,82	0,55	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,1
Lana de vidrio con capa bituminosa	48-80	1,65	0,82	0,55	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,1
Poliestireno	24	1,65	0,82	0,55	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,1
	32	1,50	0,75	0,50	0,37	0,30	0,25	0,21	0,19	0,17	0,1
	64	1,65	0,82	0,53	0,41	0,33	0,27	0,24	0,21	0,18	0,18
	88	1,75	0,87	0,58	0,44	0,35	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17
Espuma de Poliestireno	40	0,95	0,47	0,32	0,24	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,10
Placas de Poliestireno	48	1,90	0,95	0,63	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
Lana de escoria	136	1,68	0,84	0,56	0,42	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
Lana de escoria a granel	176	1,82	0,91	0,61	0,45	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18

*Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).*

**Tabla 3.4 Suplementos de temperatura por radiación solar en °C.**

	Este	Sur	Oeste	Techo
Colores claros	2,2	1	2,2	5
Colores medios	3,3	2,2	3,3	8,3
Colores oscuros	4,4	2,8	4,4	11

*Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).*

En la práctica, se tiene que definir la orientación de cada cara o muro de la cámara para conocer que suplemento le corresponde en dado caso que el sistema esté expuesto a esta fuente.

Ahora, la temperatura  $t_e$  se debe obtener de un estudio del lugar donde estará ubicada la cámara frigorífica o se pueden aplicar los valores de estudios ya realizados. La **CONAGUA** (2018) reporta una temperatura ambiente promedio máxima anual de 32.5 °C para la ciudad de Chetumal, la cual puede ser aplicable como  $t_e$  en cualquier parte que este cerca de la ciudad, como es el caso del poblado de San Pedro Peralta.

La  $t_i$  es la temperatura de diseño, la cual se fija de acuerdo con las condiciones del producto a refrigerar. Hasta aquí ya se puede aplicar la expresión al inicio expuesta, para obtener el valor real total de  $\dot{Q}_{1(paredes,techo\ y\ suelo)}$ .

### 3.3.2 Ganancias por la entrada de aire exterior en la cámara ( $\dot{Q}_2$ )

En la cámara frigorífica debe existir siempre la suficiente ventilación para así sustituir periódicamente el aire sucio y renovarlo por aire fresco. Esta renovación de aire se da cuando el personal abre las puertas para realizar los trabajos cotidianos dentro de la cámara.

El número de renovaciones puede establecerse ya sea por hora o por día. En el caso del número de renovaciones por día la ecuación matemática a utilizar es:

$$\dot{Q}_{2(aire\ exterior\ en\ la\ camara)} = V * (\Delta h) * \frac{n}{86.4} \quad (3.11)$$

Dónde:

$\dot{Q}_2$  = Potencia calorífica aportada por el aire en (W).

$V$  = Volumen de la cámara en metros cúbicos ( $m^3$ ).

$\Delta h$  = Entalpia del aire en ( $kJ/m^3$ ).

$n$  = Numero de renovaciones de aire.

86,4 es un factor de conversión que facilita la conversión directamente en W.

Para obtener las pérdidas por entrada de aire se proporcionan tablas que definen los parámetros necesarios para el cálculo. El volumen de la cámara se obtiene fácilmente de las dimensiones de la cámara frigorífica que se va a instalar. Para el cálculo de la diferencia de entalpias se pueden utilizar dos métodos, el primero es utilizar la Tabla 3.5, para el aire exterior que penetra en la cámara y el segundo es utilizar el diagrama psicrométrico. En ambos casos es importante haber definido cuál es la humedad relativa exterior, que se puede obtener de estudios del lugar donde se construirá la cámara.

Al manejar la Tabla 3.5 en aplicaciones, habrá ciertos problemas, uno de ellos, es que posiblemente la temperatura de diseño de la cámara frigorífica no está

especificada exactamente en la tabla, si sucede esto lo que hay que hacer es realizar una interpolación entre los valores cercanos a la temperatura que se esté utilizando.

**Tabla 3.5. Calor del aire en (kJ/m<sup>3</sup>) para el aire exterior que penetra en la cámara.**

te \ ti	+5 °C		+10 °C		+15 °C		+20 °C		+25 °C		+30 °C		+35 °C		+40 °C	
	70%	80%	70%	80%	70%	80%	50%	60%	50%	60%	50%	60%	50%	60%	50%	60%
	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R	H.R
15 °C	-	-	-	-	-	-	2,77	7,0	16,8	23,3	34,5	42,7	56,4	66,4	81,4	96,5
10 °C	-	-	-	-	105,5	13,8	16,6	20,9	30,9	37,5	48,8	57,2	70,1	81,3	96,5	112
5 °C	-	-	9,6	12,0	22,8	26,2	29,0	33,5	43,7	50,5	62,1	70,6	83,9	95,4	111	127
0 °C	9,1	10,9	20,8	23,3	34,4	37,9	40,8	45,4	55,9	62,9	74,9	83,7	97,4	109	125	141
-5 °C	19,2	20,9	31,0	33,5	44,6	48,2	51,2	55,8	66,4	73,5	85,5	94,4	108	120	136	153
-10 °C	28,7	30,5	40,8	43,3	54,8	58,4	61,4	66,1	77,0	84,2	96,6	106	120	132	148	165
-15 °C	37,8	39,7	50,2	52,8	64,5	68,2	71,3	76,1	87,2	94,6	107	116	131	143	160	177
-20 °C	46,1	48,0	58,8	61,5	73,4	77,1	80,4	85,3	96,6	104	117	127	141	154	171	189
-25 °C	55,1	57,1	68,0	70,8	82,9	86,8	90,1	95,1	107	114	127	137	152	165	183	201
-30 °C	64,2	66,2	77,5	80,1	92,6	96,5	99,8	105	117	125	138	148	163	177	195	215
-35 °C	73,3	75,3	86,7	89,6	102	106	110	115	127	135	149	159	174	188	207	225
-40 °C	83,3	85,4	97,1	100	113	117	121	126	138	147	161	171	187	201	220	231

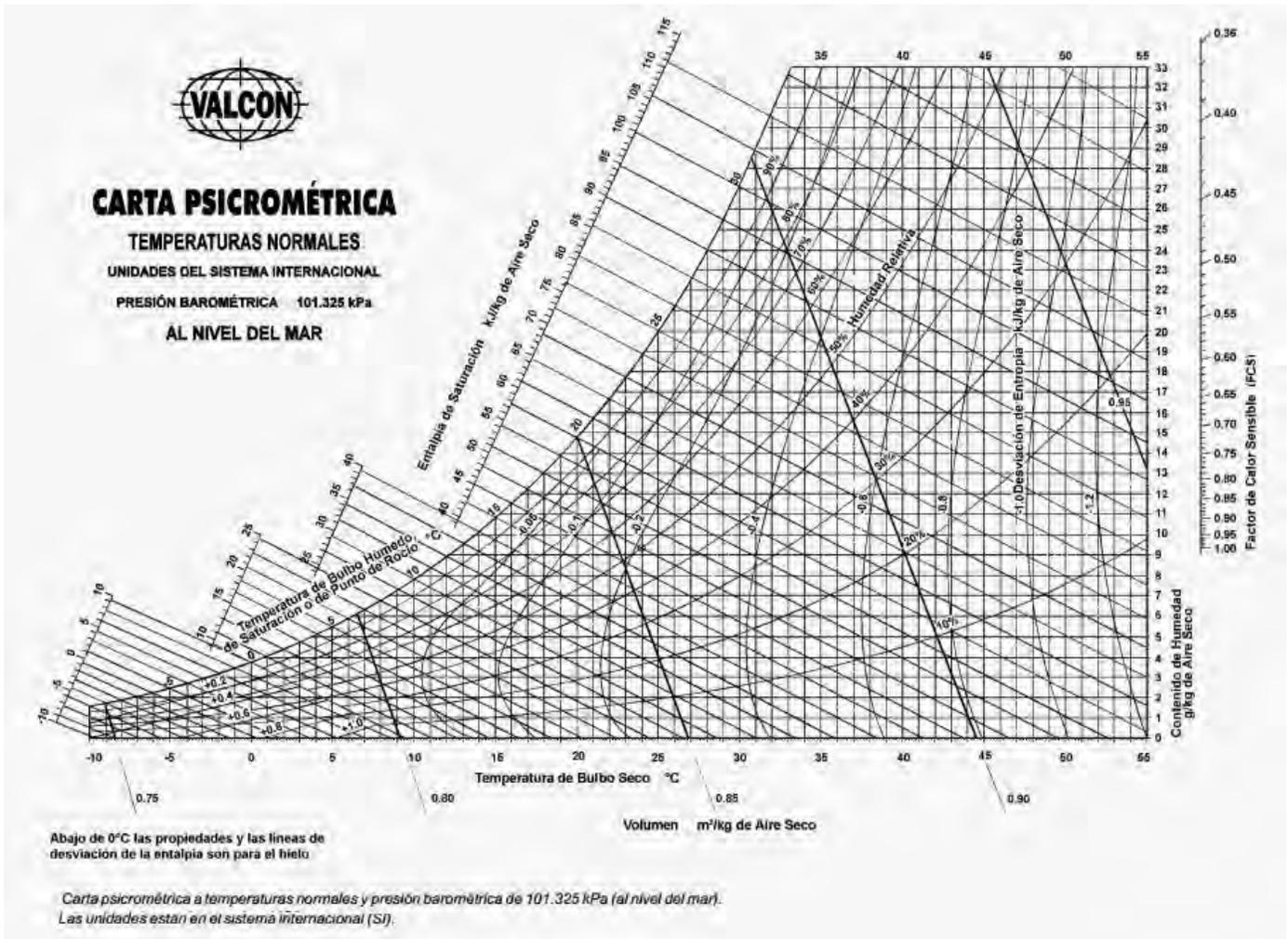
**Fuente: 1 Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas".**

En dado caso que tanto la  $t_i$  como la  $t_e$  no estén especificadas en la Tabla 3.5, hay que buscar el valor por medio de la interpolación. El otro método es utilizar el diagrama psicrométrico (Figura 3.7), se aplican los mismos parámetros, cualquier método que sea utilizado es aceptable. En este último habrá que considerar que la  $\Delta h$  obtenida del diagrama psicrométrico, viene dada en kJ/kg. Por lo tanto, habrá que hacer una pequeña modificación para determinar la potencia calorífica aportada por el aire, es decir:

$$\dot{Q}_{2(\text{aire exterior en la camara})} = \rho * V * (\Delta h) * \frac{n}{86.4} \quad (3.12)$$

$\Delta h$  = Entalpia del aire en (kJ/kg).

$\rho$  = Densidad del aire en el interior de la cámara (kg/m<sup>3</sup>).



**Figura 3.7. Diagrama psicrométrico para el aire húmedo.**

**Fuente: Apuntes de diseño de cámaras frigorífica. Universidad de Quintana Roo. (Flores Murrieta F, E. 2019).**

Para conocer el número de renovaciones de aire por día se aplica la Tabla 3.6, donde se puede conocer el valor de  $n$ . Para poder manejar la tabla, se necesita tener identificado que tipo de aplicación se realizará, si es una cámara para congelación o para enfriamiento. Si es para congelamiento las temperaturas de trabajo son por debajo de 0 °C y la tabla lo expresa con un signo negativo (-), en caso de ser sólo para enfriar, las temperaturas son por arriba de 0 °C (+). De acuerdo con el volumen de la cámara se pueden definir las renovaciones de aire diarias. Suele suceder lo mismo que el caso anterior donde el volumen no esté especificado directamente en la Tabla 3.6, en este caso, se debe realizar una interpolación.

**Tabla 3.6. Renovación del aire diario por las aperturas de puertas.**

Volumen de la cámara (m3)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m3)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m3)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m3)	Renovación de aire diario n/d	
	-	+		-	+		-	+		-	+
2,5	52	70	20	16,5	22	100	6,8	9	600	2,5	3,2
3,0	47	63	25	14,5	19,5	150	5,4	7	800	2,1	2,8
4,0	40	53	30	13,0	17,5	200	4,6	6	1,000	1,9	2,4
5,0	35	47	40	11,5	15,0	250	4,1	5,3	1,500	1,5	1,95
7,5	28	38	50	10,0	13,0	300	3,7	4,8	2,000	1,3	1,65
10	24	32	60	9,0	12,0	400	3,1	4,1	2,500	1,1	1,45
15,0	19	26	80	7,7	10,0	500	2,8	3,6	3000	1,05	1,30

**Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).**

### 3.3.3 Calor liberado por la iluminación ( $\dot{Q}_3$ )

Las lámparas son importantes dentro de una cámara frigorífica, ya que proporcionan iluminación para que el personal realice sus actividades eficientemente dentro él, sin embargo, estas lámparas suelen ser uno de los elementos que constantemente están proporcionando calor al sistema, por estar ubicadas directamente en el interior. Las lámparas incandescentes invierten una parte de la potencia consumida en producir calor. Las fluorescentes, a causa de la potencia reactiva, producen un 30 % más, por lo que no suelen utilizarse para estas aplicaciones [21].

El calor liberado por iluminación se calcula con:

$$\dot{Q}_{3(\text{iluminacion})} = \left( \frac{p \cdot t}{24} \right) * N \quad (3.13)$$

Dónde:

$\dot{Q}_3$  = Potencia calorífica aportada por la iluminación en W.

$p$  = Potencia de la lámpara en W.

$N$  = Numero de lámparas utilizadas en la instalación.

$t$  = Tiempo de funcionamiento al día de dicha iluminación en horas.

Si las lámparas son del tipo fluorescente se multiplica la potencia total de todas las lámparas por el factor 1.25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

Si no se conoce la potencia de las lámparas puede estimarse un valor comprendido entre **5 y 15 W/m<sup>2</sup>** de planta de cámara [19].

El tiempo  $t$  está definido directamente del tiempo de trabajo del personal, ya que las luces están encendidas mientras trabajan. En caso de que la cámara frigorífica funcione como exhibidor de productos en tiendas grandes, hay que considerar también el tiempo de funcionamiento de las lámparas para iluminar el producto.

### 3.3.4 Calor liberado por las personas ( $\dot{Q}_4$ )

El personal que labora dentro de la cámara manipulando o almacenando el producto, aporta calor considerablemente, sobre todo si realiza su trabajo intensamente. El calor variará también de acuerdo con cada individuo y de la temperatura de la cámara. El calor proporcionado por las personas se muestra en la Tabla 3.7. La ecuación para hallar las ganancias de calor por personas es la siguiente:

$$\dot{Q}_{4(\text{personas})} = \frac{q \cdot N \cdot t}{24} \quad (3.14)$$

Dónde:

$\dot{Q}_4$  = Potencia calorífica aportada por personas en W.

$q$  = Calor aportado por el individuo en W obtenida de Tabla 3.7.

$N$  = Número de personas que laboran dentro de la cámara.

$t$  = Tiempo de permanencia en horas.

**Tabla 3.7. Potencia calorífica aportada por personas.**

Temperatura de la cámara (°C)	Potencia liberada por persona (W)
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

**Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).**

De la siguiente ecuación se derivan los valores de la Tabla 3.7. Es importante su mención ya que, en dado caso que la temperatura de diseño no se encuentre en la tabla, la fórmula ayudará a encontrar el valor requerido, la ecuación es:

$$q = 270 - 6T \quad (3.15)$$

Donde  $T$  es la temperatura en grados centígrados en el interior de la cámara.

### 3.3.5 Calor liberado por motores eléctricos ( $\dot{Q}_5$ )

En el interior de una cámara frigorífica existen aportaciones de calor debidas al funcionamiento de los ventiladores del evaporador. Asimismo, cualquier máquina que realice un trabajo dentro de una cámara frigorífica, como por ejemplo las carretillas elevadoras, desprenderá calor. La siguiente ecuación permite determinar el calor liberado por los motores, en W:

$$\dot{Q}_{5(\text{motores})} = 0.2 * \sum \frac{P*t}{24} \quad (3.16)$$

Dónde:

$\dot{Q}_5$  = Potencia calorífica aportada por motores en W.

P = Potencia de cada motor.

t = Tiempo de funcionamiento del motor en horas.

0,2 = Es el factor que considera que un 20% de la potencia del motor se transforma en calor.

Los ventiladores sólo se utilizan durante el funcionamiento de la máquina frigorífica y, generalmente, no funcionan en los periodos destinados al desescarche de los ventiladores.

La potencia de los motores de los ventiladores se obtiene de información de placas proporcionada por aquellos lugares que se dediquen a diseñar estos tipos de instalaciones y que de alguna manera cuentan con esta información.

Generalmente al inicio del dimensionamiento el calor proporcionado por los motores es un dato desconocido, siendo esto así, se puede hacer una aproximación aplicando un 30 % de las pérdidas totales hasta ahora contempladas.

Hasta aquí, se puede definir el total de ganancias por otras fuentes aplicando la expresión:

$$\dot{Q}_{\text{otr.fuentes}} = \dot{Q}_{1:\text{pared,techo}} + \dot{Q}_{2:\text{aire ex.}} + \dot{Q}_{3:\text{ilum.}} + \dot{Q}_{4:\text{pers.}} + \dot{Q}_{5:\text{motores}} \quad (3.3)$$

### 3.4 Cálculo de las cargas térmicas del producto

La temperatura interior de la cámara frigorífica estará definida por el producto almacenado en él, por lo tanto, se deben considerar muy bien todas las propiedades y aspectos de la sustancia, puesto que el sistema estará diseñado para mantener una temperatura constante en teoría y, por consiguiente, esta temperatura será la adecuada para el producto almacenado.

La carga correspondiente al producto se divide en:

$$\dot{Q}_{\text{productos}} = \dot{Q}_{1:\text{refrigerac.}} + \dot{Q}_{2:\text{congelación}} + \dot{Q}_{3:\text{respiración}} + \dot{Q}_{4:\text{embalaje.}}$$

(3.17)

Donde:

1.  $\dot{Q}_1$ : Refrigeración del producto.
2.  $\dot{Q}_2$ : Congelación del producto.
3.  $\dot{Q}_3$ : Calor de respiración del producto.
4.  $\dot{Q}_4$ : Calor proporcionado por el embalaje.

Cada carga puede subdividirse en otras, lo que a continuación se explicará con más detalle.

#### 3.4.1 Refrigeración del producto ( $\dot{Q}_1$ )

Esta carga se considera en los diseños de cámaras frigoríficas cuando la función es solo enfriar los productos, es decir el producto no llega a congelarse y cambiar de estado físico. La ecuación utilizada para hallar las pérdidas por la refrigeración del producto es:

$$\dot{Q}_{1:\text{refrigeracion}} = [C_p * m * (T_e - T_f)] * \frac{1}{86.4} \quad (3.18)$$

Dónde:

$\dot{Q}_1$  = Calor generado por la refrigeración del producto W.

$C_p$  = Calor específico másico del producto sin llegar al punto de congelación expresado en kJ/ (kg-K).

$m$  = Masa del producto que ha de enfriarse en kg.

$T_e$  = Temperatura del producto al entrar a la cámara en °C.

$T_f$  = Temperatura del producto al final del enfriamiento por arriba de la temperatura de congelación > que 0 °C en °C.

86,4 factor de conversión a W.

Dependiendo del producto almacenando, definiremos el  $C_p$  y la temperatura final  $T_f$ . La temperatura final será la de diseño y a la cual estará operando la cámara frigorífica. Para conocer esta temperatura debemos definir que producto se refrigerará y conocer sus propiedades físicas. En la **Tabla A-1** se encuentran especificadas las propiedades de productos que pueden ser almacenados en cámaras frigoríficas y las temperaturas a las cuales se deben refrigerar. También se puede consultar la  $T_f$  y el  $C_p$  de dicho producto.

Cuando se está dimensionando por primera vez una cámara frigorífica, siempre surge el problema de la cantidad de producto que se almacenará dentro de él, para poder definir  $m$  es importante realizar un estudio de mercado, en el caso de que sea un producto que se venda a diario, de esta manera se puede hacer una estimación de la cantidad diaria mínima que debe contener la cámara, aunque es recomendable

sobredimensionarla ya que a futuro es posible que la carga introducida aumente y de esta manera poder compensar. Si no es posible o se hace difícil hacer un estudio,  $m$  lo define el ingeniero o técnico encargado del dimensionamiento.

En la mayoría de los casos, se manejan productos que vienen en envoltorios como envases, bolsas, etc., al calcular  $m$  se debe considerar solo la masa del producto, es decir el envoltorio no debe estar considerado ya que hay una carga considerada para este más adelante. La masa del producto no viene especificada en tablas, el cálculo se hace por propia cuenta.

### 3.4.2 Congelación del producto ( $\dot{Q}_2$ )

Existen productos que necesitan llegar al estado de congelamiento para poder conservar sus propiedades físicas y químicas.

Para llevar a cabo el proceso de congelamiento del producto es necesario llevar a cabo lo siguiente:

$$\dot{Q}_{2:\text{congelacion del producto}} = \dot{Q}_a) + \dot{Q}_b) + \dot{Q}_c) \quad (3.19)$$

Donde:

- $\dot{Q}_a)$ : Enfriamiento del producto hasta alcanzar la temperatura de congelación.
- $\dot{Q}_b)$ : Congelación del producto.
- $\dot{Q}_c)$ : Enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación.

#### 3.4.2.1 Enfriamiento del producto hasta alcanzar la temperatura de congelación ( $\dot{Q}_a)$ )

La ecuación para utilizar es:

$$\dot{Q}_a) = [C_p * m * (T_e - T_c)] * \frac{1}{86.4} \quad (3.20)$$

Dónde:

$\dot{Q}_a)$  = Calor generado por el enfriamiento del producto hasta alcanzar la congelación (W).

$C_p$  = Calor específico másico del producto sin llegar al punto de congelación expresado en kJ/(kg K).

$m$  = Masa del producto que ha de congelarse en kg.

$T_e$  = Temperatura del producto al entrar a la cámara en °C.

$T_c$  = Temperatura de congelación del producto °C.

La  $T_c$  es la temperatura a la cual el producto cambia de estado, esta temperatura se encuentra definida en la Tabla A-1, en función del producto que se esté tratando. La masa del producto es la que estará almacenada en la cámara frigorífica sin considerar el embalaje. La  $T_e$  es la temperatura del producto al momento de ser introducido en la cámara frigorífica (temperatura ambiente si el producto se encontraba expuesto únicamente a este medio antes de ser introducido; hay productos que pueden estar pre-enfriados antes de ser introducidos a la cámara).

### 3.4.2.2 Congelación del producto ( $\dot{Q}_b$ )

En esta fase del proceso, el producto se congela y se realiza un cambio de estado a temperatura constante. La expresión para calcular esta pérdida es:

$$\dot{Q}_b = [L * m] * \frac{1}{86.4} (W) \quad (3.21)$$

Dónde:

$\dot{Q}_b$  = Calor de congelación (W).

$L$  = Calor latente de congelación del producto kJ/(kg).

$m$  = Masa del producto que ha de congelarse en kg.

$L$  es el calor necesario para realizar el cambio de estado y dependiendo del producto se puede hallar en la Tabla A-1.

### 3.4.2.3 Enfriamiento del producto por debajo de la temperatura de congelación ( $\dot{Q}_c$ )

Es el último proceso que experimenta el producto congelado. La expresión utilizada para el cálculo es:

$$\dot{Q}_c = [C_p * m * (T_c - T_f)] * \frac{1}{86.4} \quad (3.22)$$

Dónde:

$\dot{Q}_c$  = Calor generado por el enfriamiento por debajo de la temperatura de congelación (W).

$C_p$  = Calor específico másico del producto para congelación expresado en kJ/ (kg K).

$m$  = Masa del producto que ha de congelarse en kg.

$T_c$  = Temperatura de congelación del producto en °C.

$T_f$  = Temperatura final del producto o de diseño de la cámara por debajo del punto de congelación en °C.

El  $C_p$  del producto no debe ser confundido con el utilizado anteriormente, este es cuando el producto ya presentó cambio de estado y se encuentra definido en la Tabla A-1.

En resumen, hay que tener claro si el producto se congelará o no para saber que ganancias hay que tomar en cuenta y evitar confusiones.

Por lo tanto, el calor necesario para congelar el producto será:

$$\dot{Q}_{2:\text{congelacion del producto}} = \dot{Q}_a) + \dot{Q}_b) + \dot{Q}_c) \quad (3.19)$$

### 3.4.3 Calor de respiración del producto ( $\dot{Q}_3$ )

Las frutas y verduras siguen siendo organismos vivos aun después de ser recolectadas del árbol donde crecieron, por esta causa cuando se almacenan estos tipos de productos desprenden calor extra que debe ser considerado, generalmente son cantidades bastantes pequeñas, el cálculo de esta ganancia se encuentra con la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{3:\text{respiracion del producto}} = \frac{C_s \times m}{86,4} \quad (3.23)$$

Dónde:

$\dot{Q}_3$  = Calor de respiración del producto en W.

$C_s$  = Es el calor de respiración del producto en kJ/kg.

$m$  = Masa del producto en kg.

86,4 factor de conversión en W.

El calor de respiración del producto se toma de la Tabla A-1. Cuando se refrigeran productos que no son considerados organismos vivos, esta ganancia de calor no se toma en cuenta en los cálculos.

#### 3.4.4 Calor proporcionado por el embalaje ( $\dot{Q}_4$ )

El embalaje es aquel material que recubre al producto, es importante tomarlo en cuenta ya que éstos por sus propiedades ganan calor al estar al exterior, además de que al momento de almacenar el producto ocupa una masa en proporción a la cantidad de producto a refrigerar que, en sí, es considerable.

La expresión para calcular el calor ganado por el embalaje es:

$$\dot{Q}_{4:\text{embalaje del producto}} = [C_e * m * (T_e - T_f)] * \frac{1}{86.4} \quad (3.24)$$

Dónde:

$\dot{Q}_4$  = Calor del embalaje en W.

$C_e$  = Calor específico del embalaje kJ/(kg K).

$m$  = Masa del embalaje en kg.

$T_e$  = Temperatura del embalaje al entrar a la cámara en °C.

$T_f$  = Temperatura final o de diseño de la cámara a la cual se nivelará la temperatura del embalaje en °C.

86.4 factor de conversión a W.

La  **$m$  del embalaje** no debe ser considerada con la  **$m$  del producto**, es decir, si tiene una cerveza, el embalaje debe ser solo la botella de vidrio sin el líquido y viceversa, cuando se esté hablando de la masa del producto no debe estar considerada la masa del embalaje, por esta razón son estudiadas aparte. El  $C_e$  de algunos materiales del embalaje se puede encontrar en las Tablas del **Anexo B-3**.

En dado caso que sea difícil saber la masa que ocupa el embalaje dentro de la cámara frigorífica, se puede considerar un 10 % en cámaras grandes y un 20 % en cámaras pequeñas, del valor obtenido para el enfriamiento de la mercancía [19]

La carga debida a los productos será la suma de todas las cargas que se produzcan en cada caso para el enfriamiento del producto, es decir:

$$\dot{Q}_{\text{productos}} = \dot{Q}_{1:\text{refrigerac.}} + \dot{Q}_{2:\text{congelación}} + \dot{Q}_{3:\text{respiración}} + \dot{Q}_{4:\text{embalaje.}} \quad (3.17)$$

### 3.5 Calor total de refrigeración

Una vez obtenidos todos los valores de las ganancias de calor de cada uno de los conceptos anteriormente expuestos, se tendrá:

$\dot{Q}_f$  = Calor total de otras fuentes.

$\dot{Q}_p$  = Calor total de los productos.

Siendo el calor total de refrigeración:

$$\dot{Q}_{total} = [\dot{Q}_{otras\ fuentes} + \dot{Q}_{productos}] * 1.1 \quad (3.25)$$

El **1.1** es el margen de seguridad para compensar cualquier carga extra que no se haya considerado.

Una vez conocida la carga frigorífica de la cámara, se realiza el cálculo de la potencia frigorífica de la maquinaria necesaria  $N_R$ , se usará la ecuación 3.2:

$$N_R = \dot{Q}_t * \frac{24}{t} \quad (3.2)$$

Generalmente las cámaras frigoríficas trabajan al día entre **16 y 18 hrs**, el valor de  $t$  estará en función de estas horas [19]

### 3.6 Selección de componentes

De pues de esto solo nos queda escoger a los elementos principales de refrigeración que cumplan con los requerimientos de potencia establecidos, lo primero que se debe hacer es seleccionar el refrigerante a utilizar en el sistema [21].

#### 3.6.1 Refrigerante

Un buen fluido refrigerante debe reunir las siguientes cualidades:

- Punto de congelación bajo.
- Baja relación entre caudal y potencia (mucho frio producido con poca cantidad de refrigerante).
- Calor latente alto.
- Condiciones de ebullición y condensación ajustadas a las necesidades (presiones de trabajo bajas).
- Toxicidad, inflamabilidad y corrosividad nulas o bajas.
- Buen comportamiento con respecto al lubricante del compresor.

Finalmente, la eficiencia del sistema (rendimiento o COP teórico) debe ser los más alto posible. Los fluidos que más cumplen estas condiciones son los freones; entre ellos, los más utilizados son:

R-12 dicloro diflúor de metano

R-22 monocloro diflúor de metano

R-502 mezcla azeotrópica de 48.8 % de R-22 y 51.2 % de R-115

R-404 mezcla ternaria compuesta por R-125, R-143A y R-134a

R-134a tetraflúor de etano

En la actualidad el R-12 está prohibido porque, al estar compuesto por dos moléculas de cloro, es uno de los que más contribuye a la destrucción de la capa de ozono de la atmosfera.

El R-22 tiene una sola molécula de cloro. Es parecido al R-12 en muchas de sus características físicas, aunque su presión de saturación es más alta al igual que su temperatura. El R-22 no es igual de perjudicial a la capa de ozono como es el R-12 de igual forma no se puede contar con él para su uso.

El R-502 es una mezcla azeotrópica de R-22 y R-115. Fue utilizado ampliamente en sistemas de bajas temperaturas (entre -20 y -40 °C) fue sustituido por el R-404a, R-402a y R-408.

El R-404a es muy poco tóxico incluso con exposiciones prolongadas de tiempo, como también es una mezcla de refrigerantes HFC, por lo tanto, tiene cero agotamientos de la capa de ozono, utilizado en equipos nuevos de refrigeración de medias y bajas temperaturas. Utilizado en aplicaciones almacenes frigoríficos, máquinas de helados/hielo, cámaras frigoríficas, transporte refrigerados, barcos de pesca, etc. Por otra parte, la capacidad frigorífica del R-404a, son muy superiores en temperaturas medias de refrigeración respecto al R-134a

El R-134a este está siendo usado en gran escala desde 1990 en casi todas las aplicaciones correspondientes a los CFC y HCFC, incluyendo refrigeración doméstica, refrigeración comercial, almacenamiento frío y aire acondicionado automotor, debido a su nula incidencia en la destrucción de la capa de ozono, es uno de los más usados en el mercado de la refrigeración.

### 3.6.2 Compresor

Siempre que el intervalo de potencias lo permite se recurre al uso de unidades condensadoras, que reúne compresor y condensador en el mismo bloque. Suele utilizar compresores del tipo semihermético.

La elección se realiza a partir de los datos que el fabricante da a conocer acerca de sus modelos. En primer lugar, se debe escoger entre unidades refrigeradas por aire o por agua. Este último se prefiere cuando se dispone del caudal necesario o cuando no existe una adecuada ventilación que permita el uso del aire.

Se debe establecer la temperatura de evaporación ( $t_{ev}$ ) del refrigerante. Según W.B Cooper [22], este es el parámetro que más influye en la humedad relativa del recinto

refrigerado. Si se requieren altos valores de humedad, hay que trabajar con una temperatura de evaporación unos pocos grados por debajo de la temperatura deseable en la cámara. Si, por el contrario, se necesita poca humedad relativa, la diferencia de temperatura ( $t_{int} - t_{ev}$ ) será mayor (hasta de unos 12 °C para humedades inferiores al 80 %).

**Tabla 3.8. Temperatura que se puede tomar de acuerdo con la humedad relativa que se esté utilizando.**

Humedad relativa (%)	Diferencia de temperatura (°C)
De 85 a 100	De 6.5 a 4
De 80 a 85	De 9 a 6.5
< 80	De 12 a 9

*Fuente: Monografías de climatización y ahorro energético: Cámaras frigoríficas. (Miranda, 1996).*

Normalmente en la práctica la temperatura de evaporación  $t_{ev}$  y la temperatura de condensación  $t_{con}$ , se calculan 10 °C menos de la temperatura de diseño y 10 °C arriba de la temperatura exterior respectivamente.

Para elegir el compresor se debe utilizarse el catálogo de una casa comercial; aunque los pasos que sean de seguir dependen del tipo de catálogo, se indica a continuación la forma más habitual de proceder.

Una vez determinada la temperatura de evaporación, los pasos son los siguientes:

1. Buscar la temperatura de evaporación que más se aproxime a la establecida.
2. Para esa temperatura, encontrar la capacidad requerida (las frigorías/ hora calculadas).
3. Seleccionar la temperatura ambiente para unidades refrigeradas por aire, o temperaturas de condensación para unidades refrigeradas por agua.
4. Seleccionar el modelo que reúna las condiciones.

Debe escogerse un compresor con la suficiente capacidad, para poder trabajar con cierto margen. Hay que tener en cuenta las “puntas de carga” que se producen, por ejemplo, en el momento de arrancar el quipo o cuando las temperaturas exteriores son muy altas.

### 3.6.3 Selección del evaporador

Al elegir los evaporadores deben conocerse los siguientes datos:

- Producción frigorífica necesaria.
- Refrigerante utilizado.
- Temperatura deseada en la cámara.
- Temperatura de evaporación.
- Salto térmico DT

Se define el salto térmico DT como la diferencia entre la temperatura del aire a la entrada del evaporador y la temperatura de evaporación del refrigerante [23]

En cámaras de conservación a temperatura positiva, el salto térmico en el evaporador tiene una gran influencia sobre el grado de humedad en el ambiente, además de otros factores como el propio diseño del enfriador, la tasa de ventilación y la transpiración del producto almacenado.

En cámaras a temperatura negativa, el DT tiene poca influencia sobre la humedad relativa, en cambio un DT excesivo implicará una temperatura de evaporación más baja y menor rendimiento de los compresores.

Otras características que sean de considerar son el método de desescarche que se empleara, la disposición vertical u horizontal (evaporadores de techo o de pared) y el uso de superficies aleteadas.

Un dato importante es la proyección del aire, lo que se conoce como “flecha”. Los evaporadores deben ubicarse en cámaras de modo que la circulación del aire frío sea óptima. La flecha debe alcanzar hasta la parte más alejada de la cámara y no dejar rincones sin ventilación.

## Capítulo IV Caso práctico. Calculo y Dimensionamiento de una Cámara de Refrigeración para Elote.

### 4.1 Origen del maíz

El maíz (*Zea mays*) es originario del hemisferio occidental, fue el único cereal cultivado en forma sistemática por los indios americanos. Colón encontró que el maíz se cultivaba en Haití, donde se llamaba mahíz. El centro de origen primario de la planta lo más probable es que sea América Central, donde todavía crece una planta silvestre similar, la teocinte (*Euchlaena mexicana*). En su cuaderno de bitácora (diario de navegación) fechado el 6 de noviembre de 1492, Colón relata haber visto grandes cantidades de un grano al que los indios llaman “maíz” y los exploradores posteriores comprobaron que el maíz era un cultivo nativo en cualquier parte de lo que hoy es el sur de Canadá hasta el sur de Chile, existe evidencia arqueológica de que la planta se cultivaba en Nuevo México hace unos 5,600 años (determinación realizada mediante el carbono de los zuros o carozos). El maíz fue introducido a Europa en 1494 después del regreso de Colón de su segundo viaje y en pocos años se extendió al sur de Francia, Italia y al norte de África [24].

### 4.2 El maíz y su importancia en México.

Antes del descubrimiento de América, el maíz era la base de alimentación de muchas comunidades indígenas. El maíz es la especie vegetal cultivada de mayor importancia socioeconómica en nuestro país de la cual se tiene una extensa información de tipo agronómico, la influencia del maíz en la alimentación humana, además de ir unido a tradiciones y costumbres locales, se basa en cualidades alimenticias, culinarias y gastronómicas, sin nombrar las económicas, que lo hacen en extensas zonas del mundo y en algunos países, el alimento humano más importante [24].

### 4.3 Condiciones de cosecha del elote

El maíz dulce (elote) se considera maduro para el consumo fresco o para el procesamiento de granos cuando se secan los estigmas por polinización y los granos siguen inmaduros, las hojas de envoltura aún siguen apretadas y tienen un buen aspecto verde, la mazorca se encuentra firme y turgente, los granos están hinchados y cuando se les presiona, parecen ser lechosos y no masosos, los elotes pueden ser cosechados. La cosecha para el mercado fresco se debe hacer a mano, los elotes se desprenden hacia abajo y en dirección contraria al tallo principal, se recortan las puntas del tallo para evitar una pérdida excesiva de agua. Las semillas que se consumen frescas se cosechan cuando su contenido en agua es del orden del 70 % [24].

#### 4.4 Temperatura optima de almacenamiento

El maíz dulce común no se almacena por más de algunos días, debido al deterioro acelerado de calidad, aun a temperaturas ideales. Cuando es necesario el almacenamiento de corto plazo para una comercialización ordenada, el periodo máximo debe ser de 7 días, lo que incluye el tiempo de transporte. El maíz super dulce se ha almacenado a 0 °C por hasta 21 días obteniéndose una calidad de mercado aceptable [25].

#### 4.5 La importancia de la refrigeración

Uno de los beneficios de la conservación de elote por medio de refrigeración es la disminución de riesgos de que se desarrollen o multipliquen microbios supervivientes.

Las bacterias existen en cualquier parte en la naturaleza. Éstas están en el suelo, aire, agua y en los alimentos que comemos. Cuando estos tienen nutrientes (los alimentos), humedad y temperaturas favorables, éstas crecen rápidamente, aumentando en número hasta el punto donde otros tipos de bacterias pueden causar enfermedades. Las bacterias crecen rápidamente en un rango de temperatura entre 4.4 °C y 60 °C, la "Zona de Peligro", algunas duplicándose en número en tan poco tiempo como en 20 minutos. Un refrigerador puesto a 4.4 °C o menos puede proteger la mayoría de los alimentos [26].

Otro punto en tomar en cuenta es que las enfermedades, no representan una causa tan importante de pérdidas de postcosecha cuando se les compara al daño de insectos desde el campo [25].

#### 4.6 Cálculo y dimensionamiento de la cámara de refrigeración para maíz blanco tierno.

Las condiciones de diseño de la cámara frigorífica para elote blanco se llevan a cabo mediante datos proporcionados por parte de un productor y vendedor de elotes de la comunidad de San Pedro Peralta, el cual dio a conocer datos acerca de este producto, dio a conocer, que, en dicha comunidad, se producen periódicamente grandes cantidades de maíz, el cual se vende a las ciudades, como Chetumal, Cancún y a los municipios cercanos como Bacalar. Semanalmente venden una cantidad aproximada de 100,000 elotes y los productores tiene un excedente aproximado de 16,000 elotes por semana, en su punto óptimo, el cual es cuando el elote es verde y los granos están lechosos, que es cuando mayor valor tiene este producto.

La cantidad de elote (maíz blanco) que se desea refrigerar es de 16,000, para saber el peso del producto total, se realizó el pesaje de algunos elotes, por consiguiente, se obtuvo un peso promedio de 400 gramos por elote, por lo tanto, al realizar los cálculos la cantidad de producto total que se desea refrigera, se obtiene una cantidad de 6,400 kg. De igual forma se tomaron medidas de este, para obtener sus dimensiones, como las dimensiones de los elotes no son iguales, se tomó un promedio, dando como resultado 30 cm de longitud y el diámetro mayor de 5.5, en la Figura 4.1 se puede observar las dimensiones promedio del elote.



**Figura 4.1 Elote blanco.**  
**Fuente: elaboración propia.**

Para el almacenamiento se utilizarán caja que están elaboradas con polipropileno, lo que les asegura un largo tiempo de vida útil. Por su diseño, disminuye el tiempo de refrigeración y pre-enfriado; reduciendo el uso de energía y aumentando el tiempo de vida del producto, ya que no incuba hongos o bacterias por ser un polímero (plástico). Otro factor importante es que las cajas son apilables lo cual significa que no se necesita de anaqueles para su estibado. Sus dimensiones se pueden observar en la Tabla 4.1, al igual que en la Figura 4.2, se puede observar el tipo de caja para almacenar el elote.

**Tabla 4.1. Dimensiones y características físicas de las cajas para conservar elotes.**

Medidas externas.	Medidas internas.
<b>Largo: 62 cm.</b>	Largo: 60.5 cm.
<b>Ancho: 47.4 cm.</b>	Ancho: 44.4 cm.
<b>Alto: 53.5 cm</b>	Alto: 52 cm
<b>Calor específico del plástico:</b>	1.7kJ/kg °C
<b>Peso aproximado:</b>	3.8kg

*Fuente: Ficha técnica, Cajas de plástico Daplast.*



**Figura 4.2. Caja de plástico para almacenamiento de elote.**

*Fuente: Cajas de Plástico. Daplast.*

Para obtener la cantidad de elotes que caben en una caja, se comparan las dimensiones internas del contenedor con las dimensiones promedio del elote, por lo tanto para sacar cuantos elotes caben a lo largo, ancho y alto, se divide los 60.5 cm de longitud de la caja entre los 30 cm de longitud del elote y así también se realiza para lo ancho, se dividen 44.4 cm de ancho de la caja entre el diámetro mayor del elote, el cual es 5.5 cm y asimismo para lo alto de la caja se divide 52 cm de alto de la caja entre 5.5 cm de ancho del elote. Ya realizado los cálculos se obtiene la cantidad de elotes que se obtienen para lo largo, ancho y alto, los cuales dan 2, 8 y 9 respectivamente.

Multiplicando la cantidad de elotes que caben a lo largo, ancho y alto de la caja, se obtiene la cantidad de elotes total que caben en una caja los cuales son 144 elotes.

La cantidad de elotes que caben en una caja es 144, pero para que haya una mejor ventilación entre cajas apilables se opta de dejar un espacio entre las cajas, esto quiere decir que la última estiba de elotes se elimina. Se realiza nuevamente el cálculo de cantidad de elotes totales que entran en una caja suprimido la última estiba, quedando de la siguiente manera 2x8x8, por lo tanto, en una caja abra **128** elotes.

#### 4.6.1 Procedimiento para obtener las dimensiones internas de cámara frigorífica

##### 1. Calcular el número de cajas

La cantidad de elotes que se desean conservar en la cámara frigorífica se divide entre la cantidad de elotes que puede contener en una caja de plástico y de esa forma se obtiene la cantidad total de cajas que se necesitan.

$$Total\ de\ cajas = \frac{16,000\ elotes}{128\ elotes} = 125$$

##### 2. Calcular la longitud de la cámara

Para obtener las dimensiones de la cámara de refrigeración para esta aplicación, se deben tomar en cuenta las recomendaciones que han publicado expertos en el tema sobre la óptima circulación del aire.

Según Alvares Cárdenas (2015) Revista Mundo HVACR, para reducir al mínimo el paso del calor por el aislamiento, la forma ideal sería un cubo, que combina el mayor espacio de almacenamiento con la menor área de superficie. Los productos pueden estibarse hasta alturas mayores de 8 m, utilizando montacargas apropiados; los límites a las alturas de los almacenes están determinados por los medios de manejo interno del producto (rotación de productos) y por la utilización de envases, embalajes, tarimas, etc.

Hay que tener en cuenta, por otra parte, que la altura de un almacén es igual a la altura de la estiba de los productos más una distancia libre de 0.8 a 1.2 m. Este espacio libre es indispensable para una buena circulación y distribución del aire en la parte superior de las estibas.

La longitud y el ancho del almacén estarán en función de las condiciones de explotación prevista y del tipo de equipo de enfriamiento interno que se adopten.

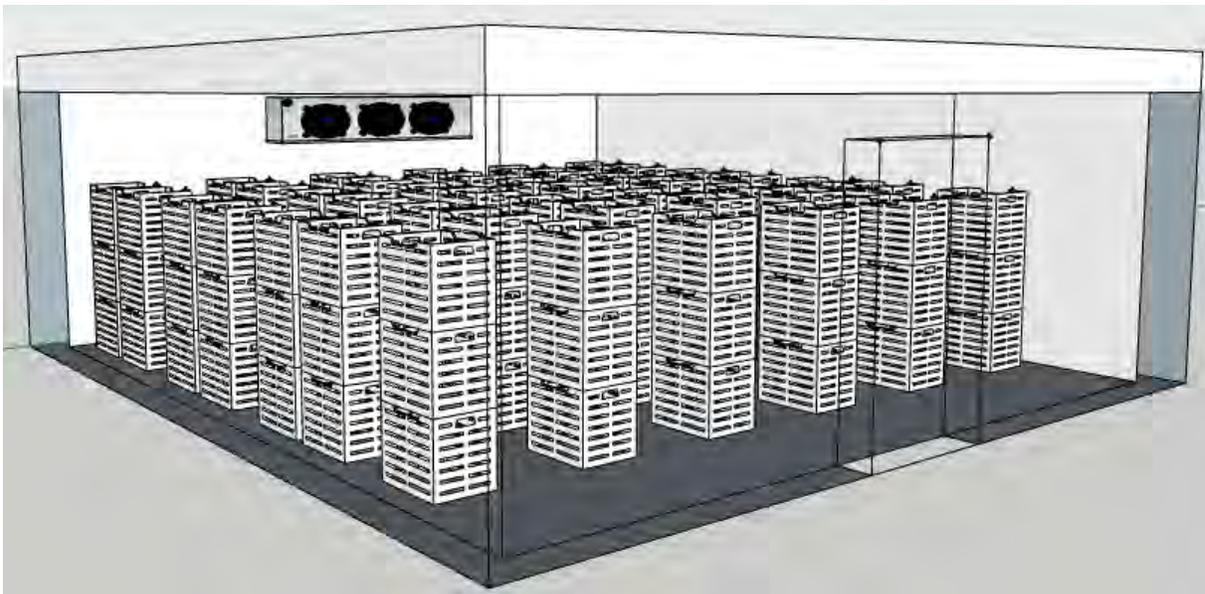
Para mantener una óptima circulación del aire con la consecuente uniformidad de las condiciones internas y, para facilitar el dimensionamiento interno de los almacenes, normalmente se deberán tomar en cuenta los siguientes espacios libres:

- Entre pared y estiba: de 0.20 a 0.40 m.
- Entre estiba y estiba: de 0.10 a 0.20 m.

- Pasillo interno: depende del modo de manejo interno de productos.

Por consiguiente, las dimensiones de la cámara frigorífica se calculan a partir del número de cajas, por este motivo se da una idea de cómo acomodar y estibar las cajas, para una correcta ventilación en el espacio de refrigeración.

Se considera el acomodo de las cajas de la siguiente forma: 6 filas, cada fila de 7 estibas, y cada estiba costa de 3 cajas apiladas, haciendo un total 126 cajas, por lo tanto, sobrara espacio para acomodar una caja más, de acuerdo con la lo diseñado, en la Figura 4.3 se puede observar el acomodo de las cajas.



**Figura 4.3 Vista isométrica de la cámara frigorífica.**

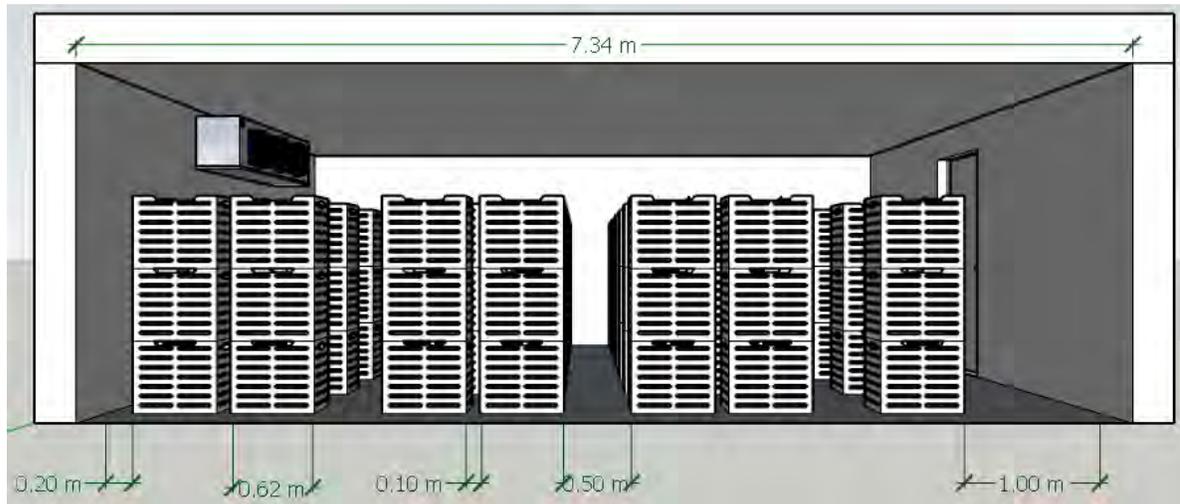
**Fuente: Elaboración propia.**

Para calcular la longitud de la cámara frigorífica tenemos la siguiente ecuación:

$$L \text{ camara} = \sum L \text{ Cajas} + \sum L \text{ Pasillos entre cajas} + \sum L \text{ Espacio entre pared y cajas} + \sum L \text{ Espacios entre cajas} \quad (4.1)$$

Las medidas de longitud de las cajas se obtienen de la Tabla 4.1 y se considera una longitud de pasillos entre cajas de 0.5 m, los cuales van a hacer 3 pasillos y 1 espacio entre pared y cajas de 0.20 m, además un pasillo en la última estiba y la pared donde se encuentra la puerta es de una longitud de un 1 m para poder maniobrar a la hora de salir o entrar a la cámara, 3 espacios de 0.1 m entre pares de cajas, todas estas dimensiones se pueden observar en la Figura 4.4 vista lateral de la cámara frigorífica, sustituyendo valores en la ecuación 4.1 se obtiene la longitud de la cámara frigorífica:

$$L \text{ camara} = 7(0.62)m + 3(0.5)m + 0.2m + 0.3m + 1m = 7.34m$$



**Figura 4.4. Vista lateral de la cámara frigorífica para conservación de elote.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

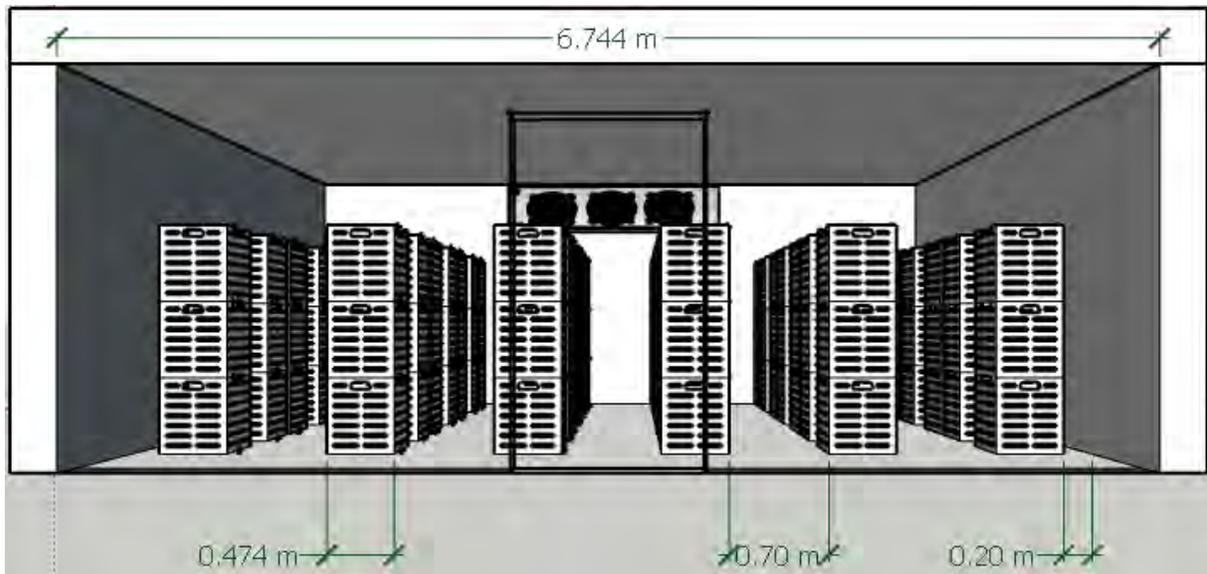
### 3. Calcular el ancho de la cámara

Para el cálculo de ancho de la cámara se tiene la siguiente formula

$$A \text{ camara} = \sum A \text{ Cajas} + \sum A \text{ Pasillos entre cajas} + \sum A \text{ Espacio entre pared y cajas} \quad (4.2)$$

Las medidas de ancho de las cajas se obtienen de la Tabla 4.1 y la anchura de los pasillos entre cajas se considera de 0.7 m, los cuales van a hacer 5 pasillos y 2 espacio entre pared y cajas de 0.20 m, estas dimensiones se pueden observar en la Figura 4.5, sustituyendo en la ecuación 4.2, se obtiene lo ancho de la cámara frigorífica:

$$A \text{ camara} = 6(0.474)m + 5(0.7)m + 0.4m = 6.744 m$$



**Figura 4.5. Vista frontal de la cámara frigorífica para conservación de elote.**

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4. Calcular lo alto de la cámara

Para lo alto de la cámara frigorífica se consideran 3 cajas apiladas, las cuales van a hacer la suma de las alturas de las cajas más la suma del espacio entre la estiva y el techo, el cual se propone que la altura de la cámara frigorífica sea 2.5 m por lo tanto no realiza ningún cálculo.

Por último, se realizan tablas de dichas longitudes de la cámara frigorífica para facilitar cálculos posteriores.

En las Tablas 4.2 y 4.3 se pueden ver las medidas de la cámara frigorífica, así como también sus respectivas superficies de paredes, techo y puerta.

**Tabla 4.13. Dimensiones y volumen de la cámara frigorífica.**

<b>Largo</b>	<b>7.34m</b>
<b>Ancho</b>	6.744m
<b>Alto</b>	2.5 m
<b>Volumen</b>	123.75 m <sup>3</sup>

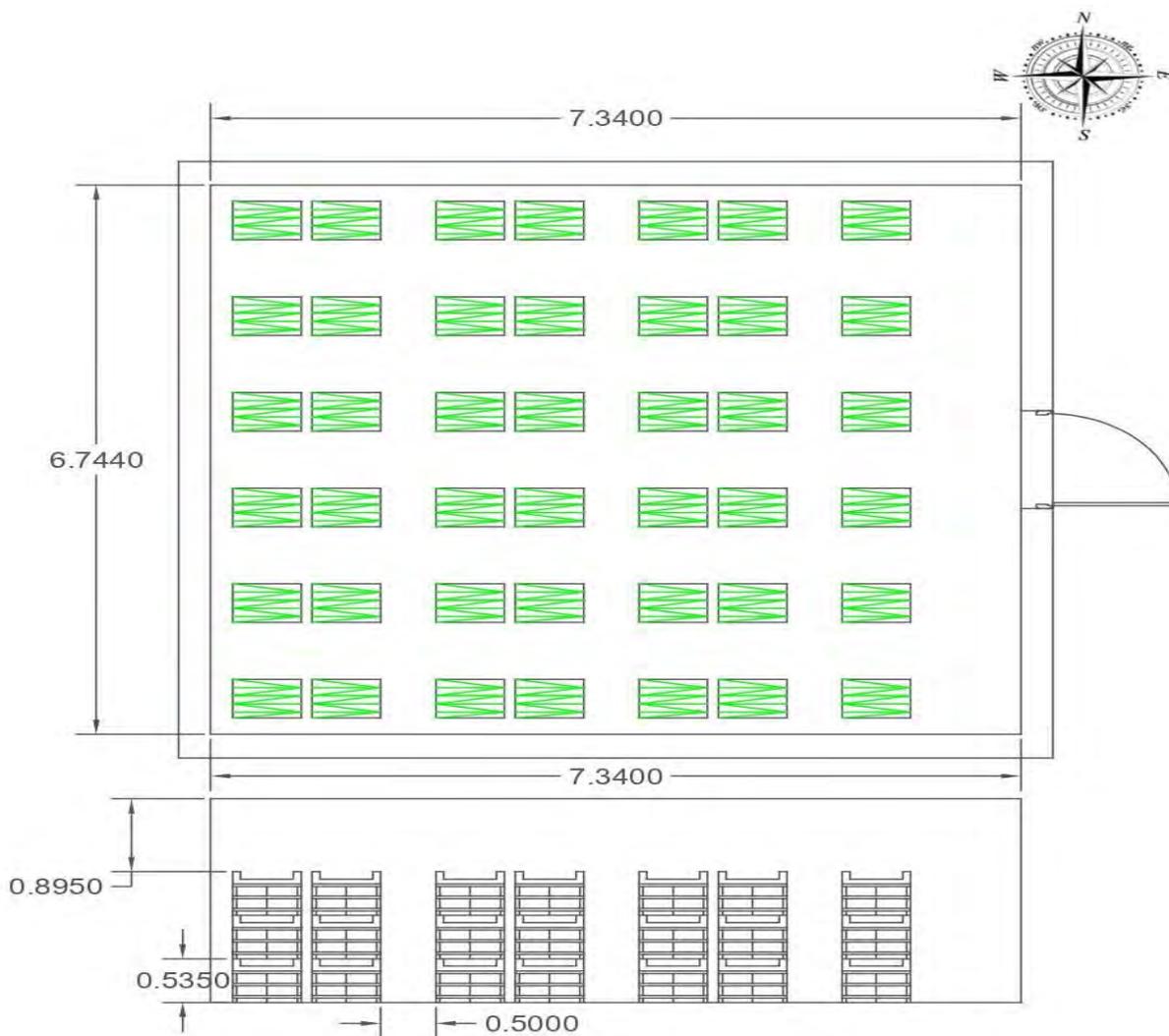
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 4.3. Superficies de las diferentes estructuras de la cámara frigorífica.**

Estructuras de la camara frigorifica	Superficie en m <sup>2</sup>
Pared Norte	18.35
Pared Sur	18.35
Pared Este	14.22
Pared Oeste	16.86
Techo	49.5
Puerta	2.64

*Fuente: Elaboración propia.*

Hasta este punto ya se han definido las dimensiones de la cámara de refrigeración para conservación de elote (maíz blanco). En la Figura 4.6, se puede observar el plano y como está orientada la cámara.



**Figura 4.6. Plano de la cámara frigorífica, vista de planta y lateral.**

*Fuente: Elaboración Propia.*

A continuación, se definen los materiales constructivos. Como la cámara se está diseñando, para un poblado cercano a la ciudad de Chetumal, se toman condiciones de esta misma, así como también los materiales implementados en esta región, es decir:

- Las paredes serán de material constructivo: block y mortero (cemento-polvo-cal).
- El techo: vigueta-bovedilla, concreto armado, calcreto y mortero.
- Como la zona es cálida-húmeda, se utilizará una capa de material como barrera anti-vapor de aluminio en toda la superficie de la cámara.
- Como material aislante se aplicará poliuretano, apta para estos tipos de aplicaciones [27].

El poliuretano se eligió debido a las siguientes propiedades:

- Se adhiere firmemente a todo tipo de sustrato, sin necesidad de pegamentos, ni sujetador mecánico.
- Baja conductividad térmica
- Elimina problemas de goteo por condensación.
- Resiste a los ácidos.
- Estable dimensionalmente, no se elonga, contrae, ni deforma.
- No necesita mantenimiento posterior.
- A diferencia de otros aislantes no es atacado por roedores.
- Aplicado sobre chapas deterioradas renueva la cubierta sin necesidad de cambiar partes averiadas.
- Fácil y rápida aplicación (300 m<sup>2</sup>/día).
- Resiste y no propaga fuego. Autoextinguible a la llama.
- Resistente a los microorganismos.
- Adaptable a distintas superficies y en todos los planos posibles.
- Óptima adherencia entre capas.
- Aplicado sobre chapa (carrocerías, techos, aberturas) otorga rigidez estructural.
- Atenúa los ruidos, etc.
- Aísla frío-calor, desde – 200°C hasta 100 °C.

Además de las propiedades antes mencionadas, este material es económico comparado a otros aislantes y ampliamente utilizado en viviendas (casas y pisos), naves industriales, sectores como la construcción, refrigeración y calefacción debido a

su baja conductividad térmica. Aunado a lo anterior su aplicación es sencilla mediante proyección por aspersion, lo cual no necesita de adhesivos que generen mayores costos.

Cabe mencionar, que el diseño de la cámara de refrigeración para elote se considera que estará construida bajo una estructura tipo domo como se puede observar en la Figura 4.7. Por lo tanto, las paredes y techo no estarán expuesto a la radiación solar, y las ganancias en la superficie del suelo de la cámara se suprimirá ya que este no tendrá repercusión alguna en el sistema por estar adyacente al suelo (en caso contrario si éste estuviera en un segundo nivel, donde sí es necesario tomarlo en cuenta).



**Figura 4.7 Estructura de techado tipo domo.**

**Fuente: elaboración propia.**

Ahora bien, es importante definir los datos técnicos y las propiedades del elote, para lo cual, en las Tablas 4.4 se resumen estos datos.

En la Tabla 4.5 se muestran los datos de temperatura y humedad relativa exterior predominante en la Ciudad de Chetumal, importantes para el dimensionamiento de la cámara de refrigeración.

**Tabla 4.4. Condiciones de almacenamiento del maíz blanco.**

Alimentos	Temperaturas de almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Duración de almacenamiento	Punto de congelación (°C)	Calor másico antes de la solidificación (kJ/Kg K)	Calor másico después de la solidificación (kJ/kg K)	Calor de congelación kJ/kg	Calor de respiración kJ/kg/día
Maíz	0, +1, +2, +3, +4	90-95	4-8 días	-0,5	3,31	1,76	246	3.7

**Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).**

**Tabla 4.5. Temperatura promedio exterior, humedad relativa exterior en la ciudad de Chetumal y temperatura al inicio de la refrigeración del elote.**

<b>Temperatura promedio exterior (máxima).</b>	<b>32.5 °C</b>
<b>Temperatura promedio exterior bajo la sombra.</b>	<b>31.5°C</b>
<b>Humedad relativa exterior.</b>	<b>77.5%</b>
<b>Temperatura inicial del elote.</b>	<b>30 °C</b>

**Fuente: Elaboración propia. Según datos CONAGUA (2018).**

En el capítulo III, se mostró la composición de la pared y el techo con sus respectivos espesores de cada material. Puesto que aquellos espesores mencionados son los reales en la zona, se utilizarán dichos datos para el cálculo.

## 4.7 Cálculo de las cargas térmicas de la cámara

### 4.7.1 Ganancias a través de paredes, techo ( $\dot{Q}_1$ )

Se comenzará con el cálculo de las cargas térmicas de la cámara utilizando la ecuación 3.3.

Se dividirá la cámara de refrigeración en 5 partes ya que algunas de las superficies son de diferentes, así como la puerta; se tienen 2 superficies laterales (muro Norte y muro Sur), la parte frontal (muro Este), la parte trasera (muro Oeste) y el techo (ver Figura 4.6), siendo esto así se tiene la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_1 = \dot{q}_{Norte} + \dot{q}_{Sur} + \dot{q}_{Este} + \dot{q}_{Oeste} + \dot{q}_{techo} \quad (4.3)$$

El primer cálculo para realizar es encontrar el espesor del aislamiento para el sistema, puesto que es un factor común en toda la superficie.

Espesor del aislamiento se obtiene de la ecuación 3.9 del capítulo anterior:

$$e = \frac{\lambda(T_e - T_i)}{q}$$

Donde:

$T_e = 31.5 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente bajo la sombra).

$T_i = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura de almacenamiento).

$\lambda = 0.0197 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$  (Conductividad térmica del poliuretano).

$q = 8 \text{ W/m}^2$  pérdidas máximas para conservación.

Por lo tanto, se tiene que el espesor del aislamiento a utilizar en la cámara de refrigeración es de:

$$e = \frac{(0.0197 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}})(31.5 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C})}{(8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2})} = 0.077\text{m}$$

- Calculando por paredes  $\dot{q}_{\text{muro Norte}}$ ,  $\dot{q}_{\text{muro Sur}}$  y  $\dot{q}_{\text{muro Oeste}}$

Como se hizo mención oportunamente, el techo y las paredes no tiene ganancia solar, por estar debajo de una estructura que la cubre del sol, siendo esto así, el suplemento de temperatura  $t'$  no se considera en los cálculos.

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor **K** para el muro Norte, muro Sur y muro Oeste:

Tanto el muro Norte como Sur y el muro Oeste estarán compuestos de los mismos elementos: **mortero + block + mortero + barrera-antivapor + aislante + mortero**, en la Tabla 4.6 se pueden observar las propiedades de cada material.

**Tabla 4.6 Materiales de construcción de las paredes y sus características.**

Material	Espesor(e) [m]	Conductividad( $\lambda$ ) [W/m °C]
<b>Mortero</b>	0.02	1.02
<b>Block hueco</b>	0.15	0.62
<b>Mortero</b>	0.02	1.02
<b>Barrera antivapor</b>	0.002	214
<b>Aislante Poliuretano</b>	0.077	0.0197
<b>Mortero</b>	0.02	1.02

*Fuente: Elaboración propia.*

El coeficiente global de transmisión de calor **K** para el muro Norte, Sur, Este y Oeste se calcula sustituyendo valores en la ecuación **3.10**:

$$K = \frac{1}{(0.11) + \frac{0.020 * 3}{1.02} + \frac{0.15}{0.62} + \frac{0.002}{214} + \frac{0.077}{0.0197} + (0.11)}$$

$$K = : 0.225 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

Los muros Norte y Sur son exactamente iguales, como se muestra en la Figura 4.6, de esta forma se tiene que el área es:

$$A_{\text{muro Norte}} = A_{\text{muro Sur}} = 18.35 \text{ m}^2$$

Mientras que el área del muro Oeste es de:

$$A_{\text{muro Oeste}} = 16.86 \text{ m}^2$$

La diferencia de temperatura  $\Delta t$  es la diferencia entre la temperatura exterior y la temperatura interior o de diseño de la cámara de refrigeración para Maíz blanco, en este caso:

$$t_e = 31.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_i = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se calcula mediante la ecuación 3.4:

$$\dot{q}_{\text{muro Norte}} = \dot{q}_{\text{muro Sur}} = K * A * (\Delta t)$$

$$\dot{q}_{\text{muro Norte}} = \dot{q}_{\text{muro Sur}} = 0.225 \frac{W}{m^2 \cdot C} * 18.35 \text{ m}^2 * (31.5 \text{ }^\circ\text{C} - 0)$$

$$\dot{q}_{\text{Norte}} = \dot{q}_{\text{Sur}} = 130.22 \text{ W}$$

$$\dot{q}_{\text{muro Oeste}} = K * A * (\Delta t)$$

$$\dot{q}_{\text{Oeste}} = 0.2252 \frac{W}{m^2 \cdot C} * 16.86 \text{ m}^2 * (31.5 \text{ }^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$\dot{q}_{\text{Oeste}} = 119.64 \text{ W}$$

Ahora se procede al cálculo de  $\dot{q}_{\text{muro Este}}$ :

Esta superficie de la cámara de refrigeración es diferente, ya que en ésta se encuentra la puerta de acceso al interior, en este caso la transferencia de calor del muro Este se le sumará la transferencia de calor de la puerta la cual es de un material distinto, se tiene:

$$\dot{q}_{\text{Este}} = \dot{q}'_{\text{Este}} + \dot{q}_{\text{puerta}} \quad (4.4)$$

La puerta de apertura pivotante está construida de una lámina de aluminio, inyección en su interior de poliuretano. El espesor para esta puerta frigorífica de refrigeración es

de 60 mm. Los cierres son herméticos, construidos en acero inoxidable y aluminio, proporcionando una apertura suave, con una regulación muy sencilla. El tipo de puerta se puede ver en la Figura 4.8.

Las puertas de servicio generalmente son de 1.20 m de ancho y 2.20 de alto, estas dimensiones se estarán manejando para la puerta de la cámara frigorífica de elote. Las placas de aluminio tienen un espesor de 0.002 m.



**Figura 4.8. Puerta tipo pivotante para cámara de refrigeración.**

**Fuente: Puertas Frigoríficas. Isoterma soluciones térmicas. <https://www.camarasfrigorificas.es/>**

El área para aplicar en  $\dot{q}'_{Este}$  será aquella sin contemplar el área de la puerta obtenidos de la Tabla 4.3, es decir:

Área del muro Este es de: 16.86 m<sup>2</sup>.

Área de la puerta es de: 2.64 m<sup>2</sup>.

Área muro Este= 16.86m<sup>2</sup> – 2.64 m<sup>2</sup>= **14.22m<sup>2</sup>**

Sustituyendo valores se tiene que  $\dot{q}'_{Este}$ :

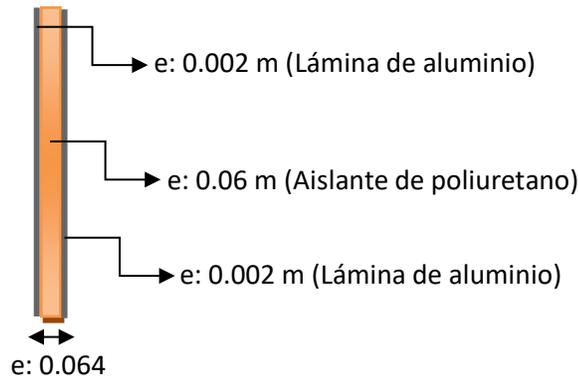
$$\dot{q}'_{muro\ Este} = K * A * (\Delta t)$$

$$\dot{q}'_{Este} = 0.225 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 14.22m^2 * (31.5 - 0)$$

$$\dot{q}'_{Este} = \mathbf{100.91W}$$

Para saber el valor de  $\dot{q}_{puerta}$  es necesario calcular el coeficiente global de transmisión de calor  $K$  para la puerta, los espesores se observan en la Figura 4.9.

La conductividad térmica del aluminio es de  $204 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ .



**Figura 4.9. Espesores usuales en puertas para cámaras de refrigeración.**

**Fuente: Cámaras Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño. (May López J, R. 2013).**

Sustituyendo valores en la ecuación 3.10 para encontrar el coeficiente global de transmisión de calor de la puerta.

$$K = \frac{1}{\left(0.11 \text{ m}^2 \frac{\text{C}}{\text{W}}\right) + \frac{0.06 \text{ m}}{0.0197 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} + \frac{0.002 \text{ m} * 2}{204 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} + \left(0.11 \text{ m}^2 \frac{\text{C}}{\text{W}}\right)}$$

$$K = 0.306 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$$

Se tiene que la ganancia de calor a través de la puerta es:

$$\dot{q}_{puerta} = K * A * (\Delta t)$$

$$\dot{q}_{puerta} = 0.306 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{C}} * 2.64 \text{ m}^2 * (31.5 - 0)$$

$$\dot{q}_{puerta} = 25.5 \text{ W}$$

Obteniendo la ganancia total en el muro Este:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{Este} &= \dot{q}'_{Este} + \dot{q}_{puerta} \\ \dot{q}_{Este} &= 100.91W + 25.5W \\ \dot{q}_{Este\ total} &= \mathbf{126.41\ W}\end{aligned}$$

Para la transferencia de calor en el techo se tiene la siguiente ecuación:

$$\dot{q}_{techo} = K * A * (\Delta t)$$

Los materiales de construcción se pueden observar en la Tabla 4.7 los cuales son los más utilizados en la zona de Quintana Roo.

**Tabla 4.7. Materiales de construcción para los techos más comunes en zonas de Quintana Roo.**

Material	Espesor(e) [m]	Conductividad ( $\lambda$ )[W/m °C]
Calcreto	0.025	0.78
Concreto armado	0.05	1.76
Vigueta y bovedilla	0.15	0.62
Mortero	0.02	1.02
Barrera antivapor	0.002	214
Aislante Poliuretano	0.077	0.0197
Mortero	0.02	0.87

Fuente: Elaboración Propia.

Para poder realizar el cálculo de ganancias de calor en el techo se tiene que recalcularse el coeficiente global de transmisión de calor debido a que los materiales del techo varían con respecto a los de los muros.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{e_{mort} * 2}{\lambda_{mort.}} + \frac{e_{bobed.}}{\lambda_{bobed.}} + \frac{e_{anti.}}{\lambda_{anti.}} + \frac{e_{aisl.}}{\lambda_{aisl.}} + \frac{e_{calcr.}}{\lambda_{calcr.}} + \frac{e_{concr.}}{\lambda_{concr.}} + \frac{1}{hi}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se tiene:

$$K = \frac{1}{0.11 + \frac{0.020 * 2}{1.02} + \frac{0.15}{0.62} + \frac{0.002}{214} + \frac{0.077}{0.0197} + \frac{0.025}{0.78} + \frac{0.050}{1.76} + 0.11}$$

$$K = \mathbf{0.223 \frac{W}{m^2 \cdot C}}$$

El área del techo se encuentra en la Tabla 4.3:

$$A_{techo} = \mathbf{49.5\ m^2}$$

El valor de la ganancia en la superficie del techo será:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{techo} &= K * A * (\Delta t) \\ \dot{q}_{techo} &= 0.223 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 49.5 m^2 * ((31.5^\circ C - 0^\circ C)) \\ \dot{q}_{techo} &= \mathbf{348.08 W}\end{aligned}$$

Hasta este punto se ha logrado calcular la transferencia de calor en cada una de las partes de la envolvente, ahora se suman todas estas, para obtener la ganancia de calor total de la envolvente:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{1(\text{para paredes, techo})} &= \dot{q}_{Norte} + \dot{q}_{sur} + \dot{q}_{Este} + \dot{q}_{Oeste} + \dot{q}_{techo} \\ \dot{Q}_1 &= 130.22W + 130.22W + 126.41 W + 119.64W + 348.08 W \\ \dot{Q}_{1(\text{para paredes, techo})} &= \mathbf{854.55W}\end{aligned}$$

#### 4.7.2 Ganancias por la entrada de aire exterior en la cámara ( $\dot{Q}_2$ )

En la cámara frigorífica debe existir siempre la suficiente ventilación para así sustituir periódicamente el aire sucio y renovarlo por aire fresco. Esta renovación de aire se da cuando el personal abre las puertas para realizar los trabajos cotidianos dentro de la cámara. Para calcular esta ganancia tenemos la ecuación 3.11.

$$\dot{Q}_{2(\text{aire exterior en la cámara})} = \rho * V * (\Delta h) * \frac{n}{86.4}$$

Dónde:

$\dot{Q}_2$  = Potencia calorífica aportada por el aire en (W).

V = Volumen de la cámara en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

n = Numero de renovaciones de aire.

86,4 es un factor de conversión que facilita la conversión directamente en W.

$\Delta h$  = Entalpía del aire en (kJ/kg).

$\rho$  = Densidad del aire en el interior de la cámara (kg/m<sup>3</sup>).

El volumen de la cámara es de 123.75 m<sup>3</sup>. Para conocer el número de renovaciones de aire por día se aplica la Tabla 3.6 “Renovaciones del aire diario por apertura de puertas”, donde se puede conocer el valor de n. En la cual para una cámara positiva de 123.75 m<sup>3</sup> y el valor más cercano es 150 m<sup>3</sup> en la tabla, que corresponde a 7 renovaciones diarias.

Para conocer las diferencias de entalpias se da uso de Figura 4.10 diagrama psicrométrico. En el cual para una temperatura exterior 31.5°C y con una humedad

relativa de 77.5% se tiene una entalpia 88 kJ/kg de igual forma para una temperatura interior de 0°C con una humedad relativa de 90% se tiene una entalpia de 8 kJ/kg.

Se tiene entonces:

$$h_{ext} = 88 \frac{kJ}{kg} \quad y \quad h_{int} = 8 \frac{kJ}{kg}$$

La diferencia de entalpias es igual a:

$$\Delta h = 88 - 8 = 80 \frac{kJ}{kg}$$

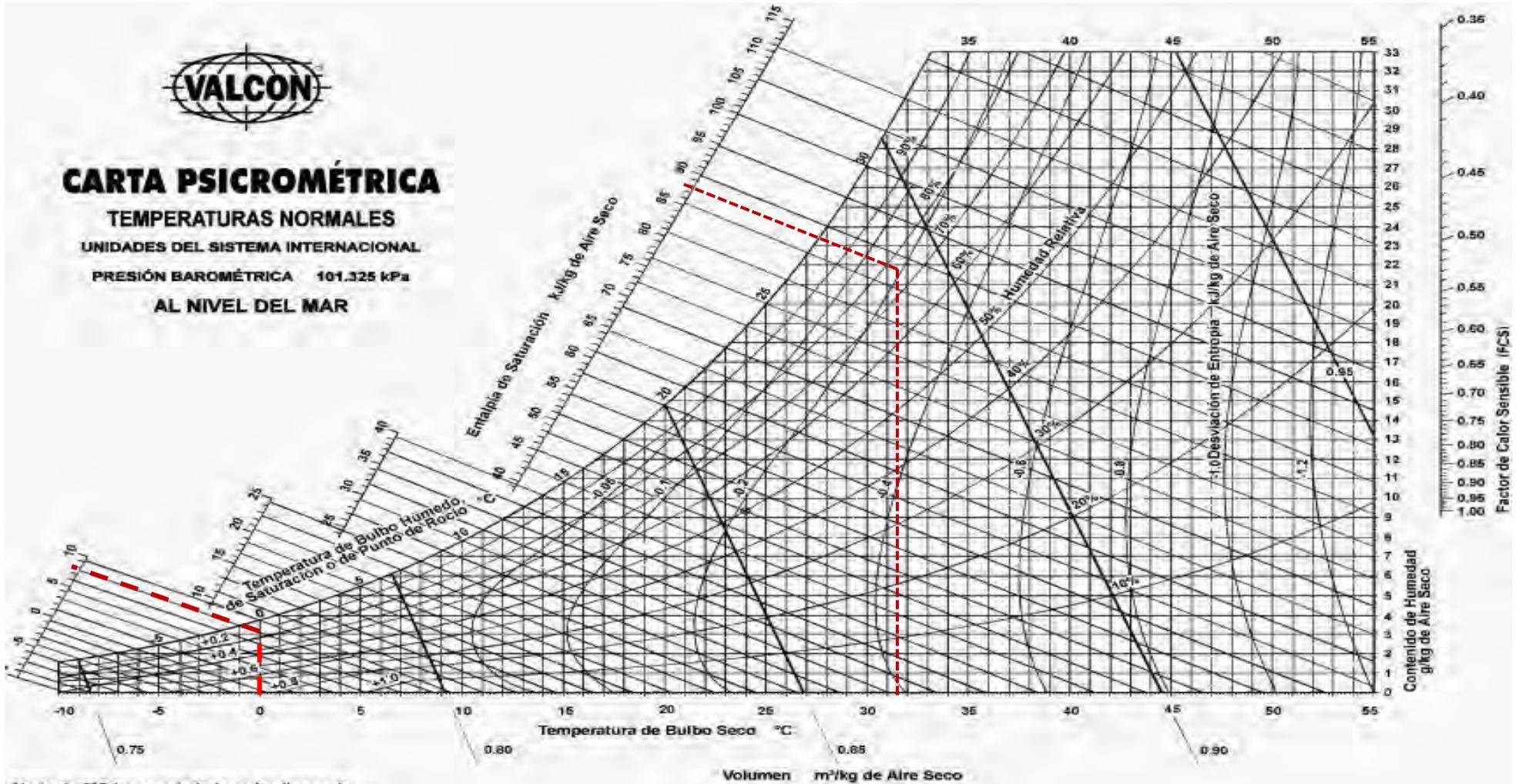
Sustituyendo valores en la ecuación 3.11.

$$\dot{Q}_2 = 1.2 * 189.15 * (80) * \frac{7}{86.4} = 1,471.16W$$



# CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES  
UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL  
PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa  
AL NIVEL DEL MAR



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para el hielo

Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).

Figura 4.10. Carta psicrométrica.

Fuente: Apuntes de diseño de cámaras frigorífica. Universidad de Quintana Roo. (Flores Murrieta F, E. 2019).

#### 4.7.3 Calor liberado por la iluminación ( $\dot{Q}_3$ )

El calor liberado por iluminación se calcula con la ecuación 3.13:

$$\dot{Q}_{3(\text{iluminacion})} = \left( \frac{p * t}{24} \right) * N$$

Dónde:

$\dot{Q}_3$  = Potencia calorífica aportada por la iluminación en W.

p = Potencia de la lámpara en W.

N = Numero de lámparas utilizadas en la instalación.

t = Tiempo de funcionamiento al día de dicha iluminación en horas.

Para este caso se tiene 6 lámpara fluorescente 60w luz blanca, con un tiempo de dos horas en funcionamiento diariamente. Por lo tanto, multiplicando la ecuación anterior por un factor 1.25, ya que son lámparas fluorescentes.

$$\dot{Q}_{3(\text{iluminacion})} = \left( \frac{60 * 2}{24} \right) * 6 * 1.25 = 37.5W$$

#### 4.7.4 Calor liberado por las personas ( $\dot{Q}_4$ )

El calor proporcionado por las personas se muestra en la Tabla 3.7 “Potencia calorífica aportada por personas”.

La ecuación para calcular las ganancias de calor por personas es la siguiente:

$$\dot{Q}_{4(\text{personas})} = \frac{q * N * t}{24}$$

Dónde:

$\dot{Q}_4$  = Potencia calorífica aportada por personas en W.

q = Calor aportado por el individuo en W obtenida de Tabla 3.7.

N = Número de personas que laboran dentro de la cámara.

t = Tiempo de permanencia en horas.

Entonces, para una temperatura de 0°C, una persona libera 270W. Para este caso, se tiene que 2 personas van a estar revisando el almacén por un tiempo de 2 horas.

$$\dot{Q}_{4(\text{personas})} = \frac{270 * 2 * 2}{24} = 45W$$

#### 4.7.5 Calor liberado por motores eléctricos ( $\dot{Q}_5$ )

En el capítulo III se mencionó la ecuación **3.16**, para hallar el calor proporcionado por los motores del evaporador, esta ecuación se puede aplicar si se ha definido que clase de motores y la cantidad de ellos estarán operando. En el caso de este diseño se considera más apropiado aplicar un 30 % de las cargas hasta ahora aplicadas para obtener así una aproximación para esta ganancia, también mencionado en el capítulo anterior. Siendo esto así se tiene que:

$$\dot{Q}_{5(\text{motores})} = 0.3 * (\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4)$$
$$\dot{Q}_{5(\text{motores})} = 0.3 * (854.55 \text{ W} + 1,471.16 \text{ W} + 37.5 \text{ W} + 45 \text{ W}) = 722.46 \text{ W}$$

#### 4.8 Cálculo de las cargas térmicas del producto

La temperatura interior de la cámara frigorífica estará definida por el producto almacenado en él, por lo tanto, se deben considerar muy bien todas las propiedades y aspectos de la sustancia, puesto que el sistema estará diseñado para mantener una temperatura constante en teoría y, por consiguiente, esta temperatura será la adecuada para el producto almacenado.

##### 4.8.1 Refrigeración del producto ( $\dot{Q}_1$ )

La ecuación **3.18** es utilizada para calcular las pérdidas por la refrigeración del producto:

$$\dot{Q}_{1:\text{refrigeracion}} = [C_p * m * (T_e - T_f)] * \frac{1}{86.4} \quad (\text{W})$$

Dónde:

$\dot{Q}_1$  = Calor generado por la refrigeración del producto W.

$C_p$  = Calor específico másico del producto sin llegar al punto de congelación expresado en kJ/ (kg-K).

$m$  = Masa del producto que ha de enfriarse en kg.

$T_e$  = Temperatura del producto al entrar a la cámara en °C.

$T_f$  = Temperatura del producto al final del enfriamiento por arriba de la temperatura de congelación > que 0 °C en °C.

86,4 factor de conversión a W.

Para este caso se tiene un  $C_p=3.31$  kJ/ (kg-K), una masa total de elote 6,400kg,  $T_e =30$  °C que es como entra el elote a la cámara y  $T_f= 0$ °C

Entonces sustituyendo valores en la ecuación **3.18** se tiene:

$$\dot{Q}_{1:\text{refrigeracion}} = [3.31 * 6,400 * (30 - 0)] * \frac{1}{86.4} = 7,355.55 \text{ W}$$

#### 4.8.2 Congelación del producto ( $\dot{Q}_2$ )

Como la temperatura mínima de conservación del elote es de 0°C y el punto de congelación del elote es -0.5°C por lo tanto no se realiza este paso de cálculo ( $\dot{Q}_2$ ).

#### 4.8.3 Calor de respiración del producto ( $\dot{Q}_3$ )

Las frutas y verduras siguen siendo organismo vivo aun después de ser recolectadas de las plantas donde crecieron, por esta causa, cuando se almacenan estos tipos de productos desprenden calor extra que debe ser considerado, generalmente son cantidades bastantes pequeñas, el cálculo de esta ganancia se encuentra con la ecuación **3.23** del capítulo anterior:

$$\dot{Q}_{3:\text{respiracion del producto}} = \frac{C_s \times m}{86.4}$$

Dónde:

$\dot{Q}_3$  = Calor de respiración del producto en W.

$C_s$  = Es el calor de respiración del producto en kJ/kg.

$m$  = Masa del producto en kg.

86,4 factor de conversión en W.

El calor de respiración del producto es 3.7 kJ/kg/día

$$\dot{Q}_{3:\text{respiracion del producto}} = \frac{3.7 \times 6,400}{86.4} = 274.07W$$

#### 4.8.4 Calor proporcionado por el embalaje ( $\dot{Q}_4$ )

La ecuación **3.24** es para calcular el calor generado por el embalaje a la entrada de la camara:

$$\dot{Q}_{4:\text{embalaje del producto}} = [C_e * m * (T_e - T_f)] * \frac{1}{86.4}$$

Dónde:

$\dot{Q}_4$  = Calor del embalaje en W.

$C_e$  = Calor especifico del embalaje kJ/(kg K).

$m$  = Masa del embalaje en kg.

$T_e$  = Temperatura del embalaje al entrar a la cámara en °C.

$T_f$  = Temperatura final o de diseño de la cámara a la cual se nivelará la temperatura del embalaje en °C.

86,4 factor de conversión a W.

Los contenedores son cajas de polipropileno el cual tiene un  $C_e=1.7\text{kJ/kg K}$  y siendo una cantidad de 125 cajas, cada caja pesa alrededor de 3.8 kg, por lo tanto, la masa total de embalaje es de 475 kg y se considera que la temperatura de entrada del embalaje es la misma que la temperatura del elote a la entrada de la cámara, sustituyendo valores en la ecuación **3.24** tenemos.

$$\dot{Q}_{4.\text{embalaje del producto}} = [1.7 * 475 * (30 - 0)] * \frac{1}{86.4} = 280.38W$$

## 4.9 Resumen General de cargas

*Tabla 4.8 Resumen general de cargas.*

CARGA TERMICA	CALOR(W)
Paredes, suelo y techo	854.55
Infiltraciones	1,471.16
Iluminación	37.5
Personas	45
Motores	722.46
Producto	7,335.55
Respiración	274.07
Embalaje	280.38
<b>TOTAL</b>	<b>11,020.51</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Aplicando el factor de seguridad a la cantidad total de cargas se tiene:

$$\dot{Q}_{total} = (11,020.51) \times (1.1) = 12,122.56W$$

Una vez conocida la carga frigorífica de la cámara, se realiza el cálculo de la potencia frigorífica de la maquinaria necesaria  $N_R$ ,

$$N_R = 12,122.56W \times \frac{24}{16} = 18,183.84 W$$

Se necesita un compresor igual o mayor a **18,183.84 W** para poder mantener la cámara de refrigeración para elote bajo condiciones establecidas.

#### 4.10 Ciclo básico de refrigeración, diagrama p-h del R-404a

Con los datos de temperaturas de condensación igual a 40°C y de evaporación igual a -10°C se encontraron las presiones de alta y baja de 2000 kPa y 450 kPa respectivamente, de igual forma se pueden observar en la Figura 4.11, el ciclo básico de refrigeración, en los puntos 1, 2, 3, y 4 se hallan las entalpías específicas.

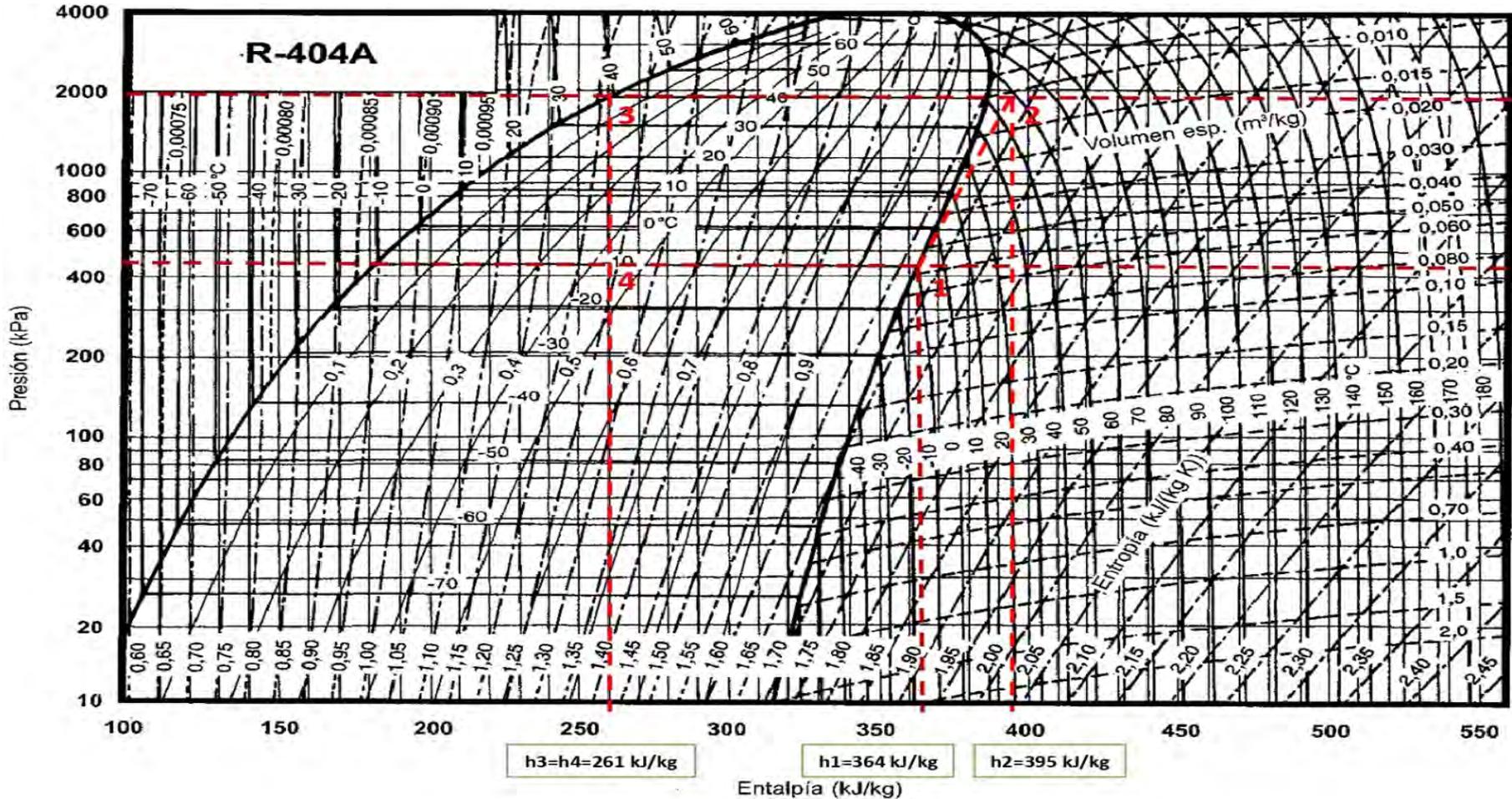


Figura 4.11. Diagrama p-h del refrigerante R-404A.

Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).

Para obtener el coeficiente de rendimiento (COP) se tiene la ecuación 4.5:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4.5)$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se tiene el COP del ciclo de refrigeración

$$COP = \frac{364 \text{kJ/kg} - 261 \text{kJ/kg}}{395 \text{kJ/kg} - 364 \text{kJ/kg}} = 3.3$$

## 4.11 Elección de componentes

Para poder mantener las condiciones de diseño de la cámara frigorífica para conservación de elote, es necesario seleccionar los componentes más importantes de la instalación como son: el refrigerante, compresor, condensador y evaporador.

Otro dato que es importante mencionar para poder seleccionar el equipo, es necesario conocer el tipo de suministro de energía al cual va a estar conectado la cámara frigorífica, debido a que **18,183.84 W** es un consumo alto para este caso, la Comisión Federal de Electricidad dice que las instalaciones eléctricas residenciales con consumo igual o superior a 10,000 W su servicio debe ser trifásico [28].

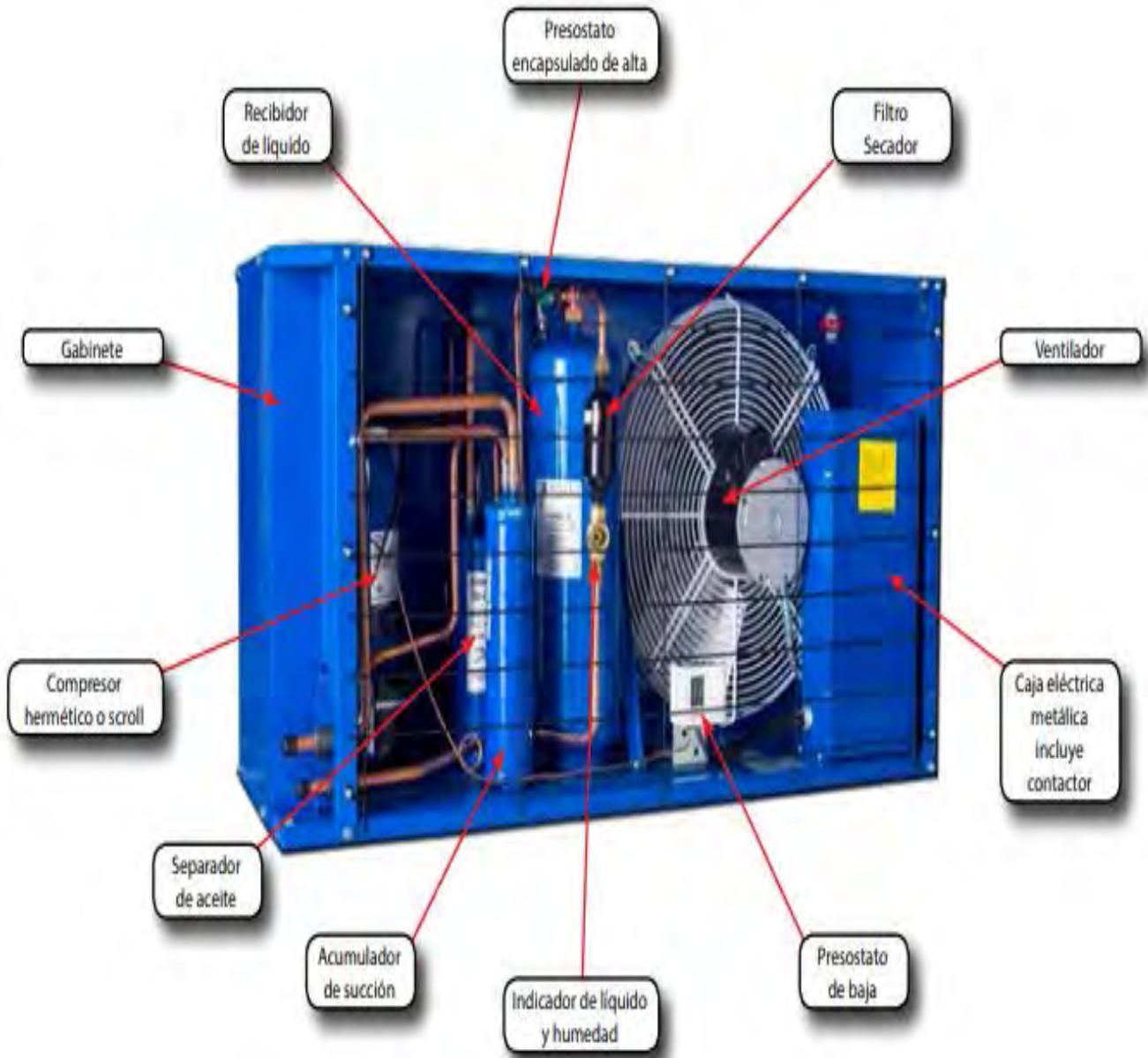
### 4.11.1 Refrigerante

En el capítulo anterior se mostró algunos de los refrigerantes más usados y sus características principales. Para esta aplicación se optó por elegir el agente refrigerante **R-404a**. La elección de este refrigerante se debe principalmente a que es el más apropiado al tipo de aplicación ya que la capacidad frigorífica del R-404a a temperaturas medias es muy superior que las del R-134a, de la misma manera, es uno de los refrigerantes que no dañan la capa de ozono, por lo cual su uso, no es tan peligroso.

### 4.11.2 Unidad condensadora

El procedimiento de selección de la Unidad condensadora y compresor se logrará consultando casas comerciales dedicadas al área de la refrigeración. A manera de ejemplificar lo mencionado, se consultó la página electrónica de “**Danfoss**” (empresa importante en la materia de refrigeración y aire acondicionado), esta empresa proporciona catálogos de selección de compresores y unidades condensadoras.

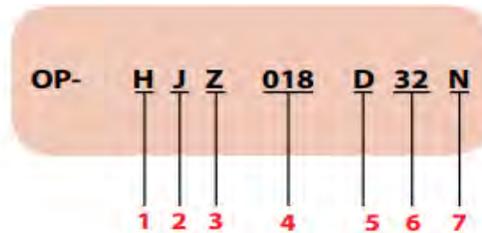
Para facilitar la selección de componentes, primero se selecciona la unidad condensadora ya que trae integrado el compresor y condensador, asimismo varios componentes de la instalación frigorífica, como se puede observar en la Figura 4.12.



**Figura 4.12 Unidades Condensadoras Optyma.**

**Fuente: Catalogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.**

Para continuar con la seleccionar de la unidad condensadora se debe conocer la nomenclatura de Danfoss, la cual se puede observar en la Figura 4.13.



<b>1</b>	<b>Application:</b> <b>H</b> = Alta y Media Temperatura de Evaporación (MBP) <b>L</b> = Baja Temperatura de Evaporación (LBP)	<b>5</b>	<b>Plataforma:</b> <b>D</b> = Tecnología microcanal
<b>2</b>	<b>Design:</b> <b>J</b> = Unidad Condensadora con compresor hermético, un ventilador <b>N</b> = Unidad Condensadora con compresor scroll, un ventilador <b>G</b> = Unidad Condensadora con compresor hermético, dos ventiladores <b>R</b> = Unidad Condensadora con compresor scroll, dos ventiladores	<b>6</b>	<b>Configuración del producto:</b> <b>32 / 40</b> = Ver tabla abajo
<b>3</b>	<b>Refrigerante/Aceite:</b> <b>M</b> = R22 - Mineral <b>Z</b> = R134a/R404A/R507 - poliéster <b>U</b> = R22/R134a/R404A/R507 - poliviniléter	<b>7</b>	<b>Código de tensión:</b> <b>N</b> = Compresor 230V / 1F / 60Hz, Ventilador 230V / 1F / 60Hz <b>Q</b> = Compresor 230V / 3F / 60Hz, Ventilador 230V / 1F / 60Hz <b>R</b> = Compresor 460V / 3F / 60Hz, Ventilador 460V / 1F / 60Hz
<b>4</b>	<b>Modelo del compresor:</b> <b>Familia MT y MTZ</b> para hermético MBP <b>Familia NTZ</b> para hermético LBP <b>Familia MLZ</b> para scroll MBP		

**Figura 4.13. Nomenclatura de Unidad Condensadora.**

**Fuente: Catalogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.**

El catálogo de Danfoss de unidad condensadora maneja dos tipos de compresores; Reciprocante Hermético y Scroll, para seleccionar el tipo de compresor en la Tabla 4.9, hay algunas recomendaciones sobre qué tecnología usar para situaciones específicas.

**Tabla 4.9 Algunas recomendaciones sobre que tecnología usar.**

Aplicación o situación	Tipo de compresor		Motivo
	Hermético	Scroll	
Nivel de ruido			Nivel de ruido más reducido
Retrofit o actualización			Aceite multirefrigerante
Bajas temperaturas			Rango de temperaturas mas bajas
Medias y altas temperaturas			Rango de temperaturas amplio
Aplicaciones con temp. evaporación estable entre -15 y -5°C			Mejor eficiencia energética anual con scroll
Aplicaciones con temp. evaporación estable fuera del rango -15 y -5°C			Mejor eficiencia energética anual con hermético
Aplicaciones con temp. evaporación variables			Mejor eficiencia energética anual con hermético

**Fuente: Catalogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.**

Con ayuda de la Tabla 4.9, se eligió el compresor Scroll, debido a que el nivel de ruido es más reducido a comparación con el hermético, asimismo a la mejor eficiencia energética anual a temperaturas de evaporación estables entre -15° y -5°C.

Cómo seleccionar una unidad condensadora Danfoss

- 1) Debe saber la capacidad frigorífica necesaria para la aplicación.
- 2) Elija el refrigerante deseado y seleccione una unidad que cubra la capacidad necesaria para las condiciones de temperatura de evaporación del proyecto y temperatura ambiente máxima en el lugar de instalación de la unidad condensadora.
- 3) El código de la unidad se puede encontrar en la propia tabla de capacidad, con la intersección del código de tensión necesario (N, Q o R) y de la configuración deseada (D32 o D40).

Para seleccionar la unidad condensadora se tienen los siguientes datos obtenidos con anterioridad.

- Temperatura de evaporación: -10 °C
- Refrigerante: R-404a
- Capacidad frigorífica: 18,183.84 W
- Temperatura ambiente: 31.5 °C
- Voltaje nominal 230 V

Como la potencia obtenida en los cálculos está expresada en W, se realiza la conversión a Btu/h, aplicando la ecuación 4.6:

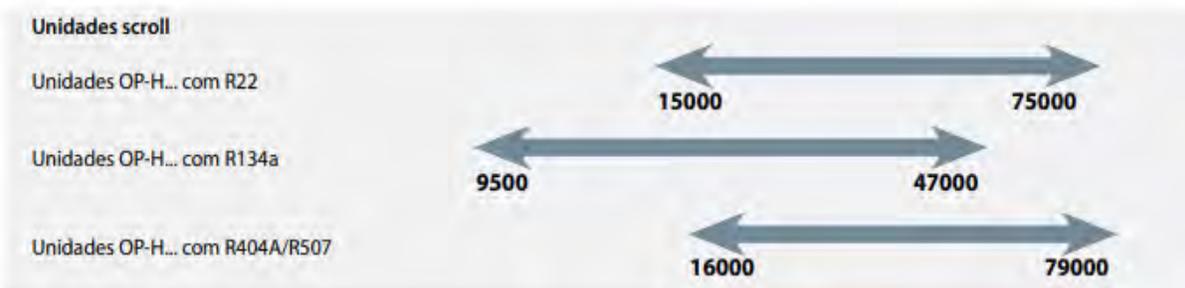
$$Btu/h = \frac{W}{0.293} \quad (4.6)$$

Sustituyendo el valor de la capacidad frigorífica en la ecuación 4.6 se tiene:

$$\frac{18,183.84W}{0.293} = 62,060Btu/h$$

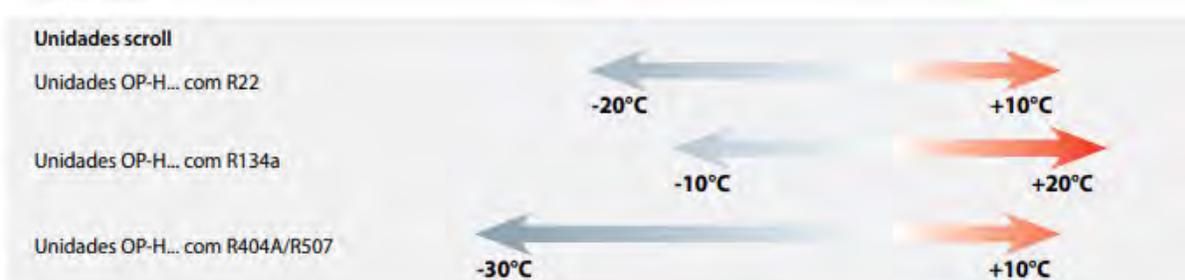
Ahora bien, para asegurarse de no utilizar un equipamiento en condiciones de operación fuera de los límites de aplicación, comparamos los datos de diseño de la cámara frigorífica para elote con los datos proporcionados por el catálogo de Danfoss.

Para unidades Scroll que trabajan con refrigerante R-404a, como se puede observar en la Figura 4.14, se tiene rangos de capacidad nominal entre 16,000 y 79,000 Btu/h, con lo cual la capacidad frigorífica de la cámara es de 62,060 Btu/h, el cual se encuentra entre el rango nominal.



**Figura 4.14. Rangos de capacidad nominal (Btu/h). Fuente: Catalogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.**

Ahora procede a observar en la Figura 4.15, el límite de aplicación de la temperatura de evaporación, en la cual se puede observar que la temperatura de evaporación de  $-10^{\circ}\text{C}$ , que es la establecida para la cámara de refrigeración de elote, se encuentra entre el rango de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $+10^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.15. Límites de aplicación (Temperatura de evaporación °C). Fuente: Catalogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.**

Por lo tanto, en la Tabla 4.10, para seleccionar la unidad condensadora con una temperatura de evaporación de -10°C y a una temperatura ambiente de 32°C, da una capacidad frigorífica de 62,750 Btu/h los cuales cubre en totalidad los 62,060 Btu/h de refrigeración de la cámara frigorífica de elote, asimismo arroja un compresor MLZ058 que cubriría la demanda frigorífica, con un código eléctrico de Q, por consiguiente se tiene la unidad condensadora con modelo OP-HRU058D marca Optyma del catálogo de Danfoss como el que se observa en la Figura 4.16.

**Tabla 14.10 Unidad Condensadora Scroll con R404A (Media y Alta temperatura).**

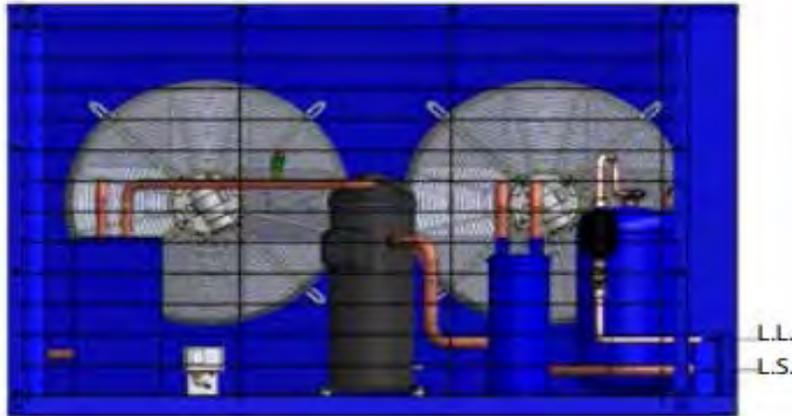
Ventiladores	Condiciones de prueba	Modelo	Código por versión		Código eléctrico	Compresor	Temperatura ambiente	Capacidad de refrigeración [Btu/h] a temperatura de evaporación								
			D32	D40				-30°C	-25°C	-20°C	-15°C	-10°C	-5°C	0°C	5°C	10°C
	sobrecalentamiento 18K subenfriamiento 3K	OP-HNU015D	114N3409	114N3366	N	MLZ015	32°C (90°F)	6 400	8 400	10 700	13 250	16 100	19 350	23 000	27 100	31 600
			114N3410	114N3367	Q		35°C (95°F)		7 900	10 100	12 600	15 350	18 500	22 000	25 900	30 250
			114N3411	114N3368	R		38°C (100°F)		7 350	9 500	11 900	14 550	17 550	20 950	24 700	28 950
		OP-HNU021D	114N3412	114N3370	N	MLZ021	32°C (90°F)	9 650	12 150	15 000	18 300	22 000	26 150	30 750	35 800	41 300
			114N3413	114N3371	Q		35°C (95°F)		11 550	14 300	17 450	21 000	25 000	29 450	34 350	39 750
			114N3414	114N3372	R		38°C (100°F)		10 900	13 550	16 550	19 950	23 800	28 100	32 900	38 150
		OP-HNU030D	114N3415	114N3374	N	MLZ030	32°C (90°F)	14 400	18 000	22 150	27 000	32 500	38 700	45 600	53 200	61 500
			114N3416	114N3375	Q		35°C (95°F)		17 100	21 100	25 750	31 000	37 000	43 650	51 000	59 100
			114N3417	114N3376	R		38°C (100°F)		16 200	20 000	24 450	29 500	35 250	41 650	48 800	56 700
		OP-HRU038D	114N3418	114N3378	N	MLZ038	32°C (90°F)	16 950	21 650	27 000	33 000	39 800	47 350	55 850	65 300	75 700
			114N3419	114N3379	Q		35°C (95°F)		20 600	25 750	31 550	38 050	45 350	53 550	62 650	72 800
			114N3420	114N3380	R		38°C (100°F)		19 450	24 450	30 050	36 300	43 300	51 200	60 000	69 850
OP-HRU048D	114N3421	114N3382	N	MLZ048	32°C (90°F)	22 750	28 200	34 700	42 200	50 800	60 350	70 900	82 450	95 000		
	114N3422	114N3383	Q		35°C (95°F)		26 850	33 050	40 250	48 450	57 600	67 800	79 000	91 200		
			R		38°C (100°F)		25 400	31 300	38 200	46 000	54 850	64 650	75 450	87 350		
OP-HRU058D	114N3423	114N3385	N	MLZ058	32°C (90°F)	23 800	29 900	36 800	44 600	53 450	62 750	73 300	84 950	97 700		
	114N3424	114N3386	Q		35°C (95°F)		27 700	34 250	41 700	50 050	59 450	69 950	81 650	94 500		
			R		38°C (100°F)		27 700	34 250	41 700	50 050	59 450	69 950	81 650	94 500		
OP-HRU076D	114N3425	114N3388	N	MLZ076	32°C (90°F)	35 600	44 500	54 600	66 150	79 200	93 850	110 150	128 100	147 700		
	114N3426	114N3389	Q		35°C (95°F)		42 300	52 000	63 000	75 400	89 400	104 950	122 100	140 950		
			R		38°C (100°F)		40 000	49 250	59 750	71 550	84 850	99 650	116 050	134 150		
					43°C (109°F)			44 550	54 150	64 950	77 050	90 650	105 800	122 650		

Fuente: Catálogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.

Códigos eléctricos:

- N – compresor 230 V/1-ph/60 Hz, fan(s) 230 V/1-ph/60 Hz
- Q – compresor 230 V/3-ph/60 Hz, fan(s) 230 V/1-ph/60 Hz
- R – compresor 460 V/3-ph/60 Hz, fan(s) 460 V/1-ph/60 Hz

Vista frontal



Vista superior (sin la tapa de la cubierta)

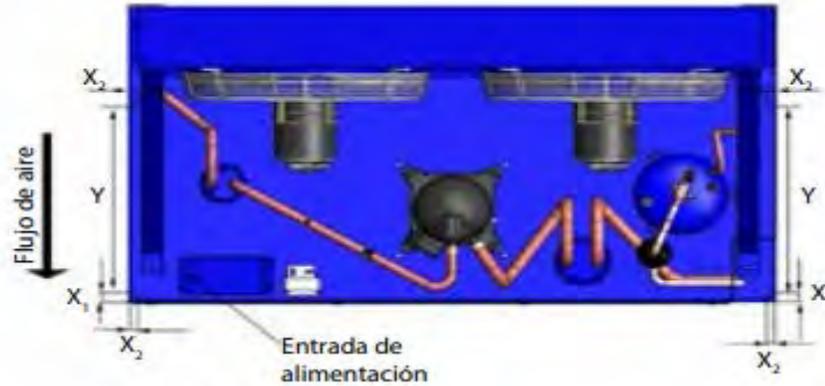


Figura 4.16. Unidad Condensadora versión D40 (scroll - 2 ventiladores).

Fuente: Catalogo de Unidades Condensadora Optyma. Alta eficiencia frigorífica y energética. Danfoss.

#### 4.11.3 Evaporador

Para la elección del evaporador, es necesario, tener la temperatura de evaporación, refrigerante a utilizar, temperatura de diseño, temperatura diferencial y la producción frigorífica necesaria. De acuerdo con lo anterior se tienen los siguientes datos:

- Temperatura de evaporación:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura de diseño de la cámara de refrigeración para elote:  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Refrigerante: R-404a.
- Producción frigorífica necesaria:  $18,183.84\text{ W} = 62,060\text{ Btu/h}$

Para poder elegir el equipo evaporador, es necesario conocer diferencial térmico que estará definida con las siglas **DT**. La mayoría de los catálogos de evaporadores lo manejan como parámetro principal para la selección del evaporador.

La temperatura **DT** en la práctica, es aquella que aplicamos para obtener la temperatura de evaporación, en este caso para una temperatura de 0 °C le corresponde un diferencial térmico de 10°C. Esta temperatura está definida con base a experiencias por lo cual, es más fácil aplicarlo en los cálculos como una aproximación a la real (es importante mencionar que siempre será preferible calcularlo).

Otros parámetros que son importantes y que varios autores mencionan, es el método de desescarche y la separación entre aletas. Se menciona que no es previsible la escarcha en el evaporador cuando la temperatura de evaporación es superior a 0 °C y se puede recurrir a aletas con separación de 5 a 8 mm, en caso contrario las aletas son de mayor separación. El método de desescarche es la circulación de aire, es necesario contar con los catálogos de evaporadores de casas comerciales. Para este caso se eligió un catálogo de evaporadores de la línea 2011 EVC de Intercal (Intercambiadores de Calor S.A), ya que es un catálogo muy explicativo de las funciones de cada modelo y de los parámetros que se necesitan para su elección, aparte que es un catálogo reciente.

La denominación de los modelos obedece a una nomenclatura que facilita la identificación de cada modelo en base a sus propiedades básicas.

EVC 5 - 403 / 50  
|\_|\_|\_| |\_|\_|\_| |\_|\_|

- EVC = Evaporador cubico
- 5 = Separación entre aletas
- 40 = Diámetro de los ventiladores dividido por 10 (en este caso 400 mm)
- 3 = Numero de ventiladores
- 50 = Superficie de intercambio

Ahora para la elección del evaporador tenemos una capacidad frigorífica de 62,060 Btu/h y un DT de 10°C a una temperatura evaporación de 10°C y una separación entre aletas de 5 mm. Como las tablas de elección de evaporadores de Intercal, las unidades de capacidad frigorífica que maneja están en Kcal/h, por lo tanto, se procede a realizar la conversión con la ecuación 4.7:

$$(Kcal/h) = (Btu/h) * 0.252 \tag{4.7}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.7 se tiene:

$$\frac{62,060 \text{ Btu/h}}{h} * 0.252 = 15,639.12 \text{ Kcal/h}$$

Con los datos antes mencionados se procede a la elección del evaporador en la Tabla 4.11, el cual nos arroja el modelo de evaporador EVC 5 - 403 /100 (indicado en color amarillo) este consta de 3 ventiladores y con una capacidad frigorífica de hasta 22,186 Kcal/h que cubren

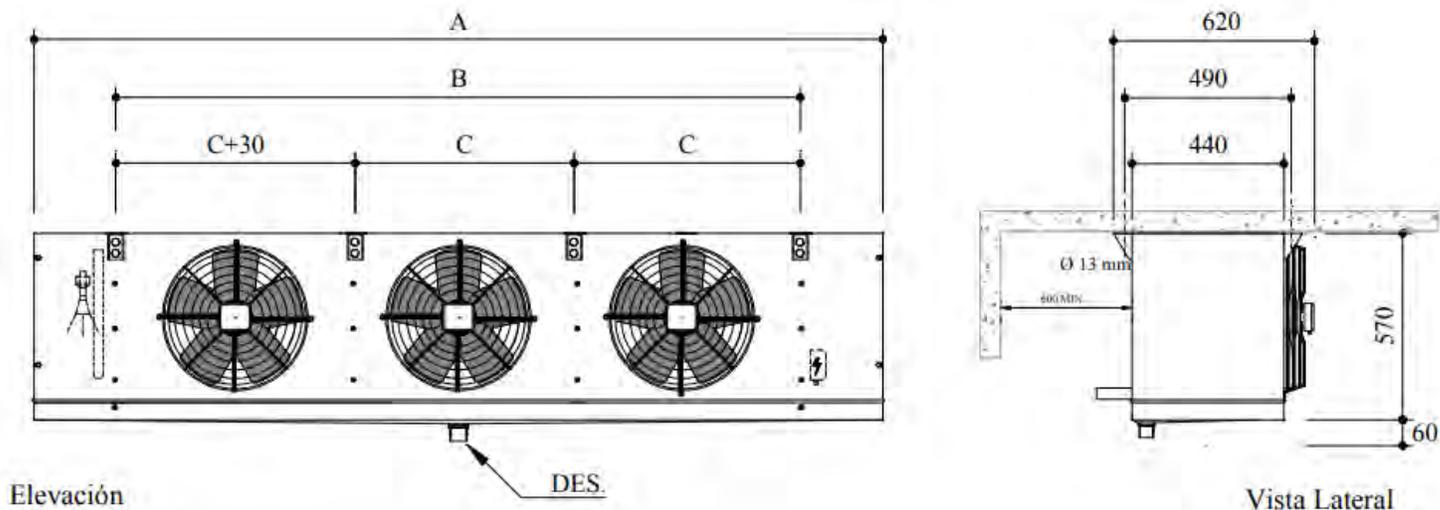
los 15,639.12 Kcal/h de diseño de la cámara, el modelo del evaporador se puede ver en la Figura 4.17.

**Tabla 4.11. Modelos para media temperatura (Separación de aletas 5 mm. / Tiro de aire 12 m).**

MODELO	CAPACIDAD Tev <sup>-10°C</sup> DT <sup>10</sup> Kcal/Hr	SUPERFICIE INTERC. m <sup>2</sup>	CAUDAL AIRE m <sup>3</sup> /h	VENTILADORES			CALEFACTORES Nº x POT. / CONS. PARA 220 V	DIMENSIONES			CONEXIONES			VOL. INT. dm <sup>3</sup>	PESO Kg.
				CANT. Nº	CONSUMO			A	B	C	ENT. PULG.	SAL PULG.	DES. INCH.		
					W (in)	A									
EVC 5 - 401 / 33	7.395	33,28	3.628	1	160	0,71	5 x 630W / 2,9A	1.075	675	675	5/8"	7/8"	HE1 1/2"	8,52	48
EVC 5 - 402 / 67	14.791	66,55	7.256	2	320	1,42	5 x 1120W / 5,1A	1.750	1.350	675	5/8"	1 1/8"	HE1 1/2"	16,32	86
<b>EVC 5 - 403 / 100</b>	<b>22.186</b>	99,83	10.883	3	480	2,13	5 x 1540W / 7,0A	2.425	2.025	675	5/8"	1 3/8"	HE1 1/2"	24,16	124
EVC 5 - 404 / 133	29.582	133,10	14.511	4	640	2,84	5 x 2100W / 9,5A	3.100	2.700	675	5/8"	1 5/8"	HE1 1/2"	32,05	162
EVC 5 - 405 / 166	36.977	166,38	18.139	5	800	3,55	5 x 2520W / 11,5A	3.775	3.375	675	5/8"	1 5/8"	HE1 1/2"	39,68	200

**Fuente: Evaporadores cúbicos. Intercal.**

La capacidad de los evaporadores indicadas en estos cuadros corresponde a un diferencial térmico DT 10 °C y evaporación a -10 °C.



**Figura 4.17. Evaporador aire forzado serie EVC 5 – 400.**

**Fuente: Evaporadores cúbicos. Intercal.**

Hasta ahora se ha logrado seleccionar 4 elementos que conforman la instalación de refrigeración por compresión mecánica de vapor, 3 de estos elementos se encuentran integrados en la Unidad Condensadora como son el compresor, condensador y el depósito de refrigerante R-404a, así como también se eligió el evaporador, estos fueron elegidos de manera adecuada al proyecto con ayuda de los catálogos Danfoss y INTERCAL.

Para finalizar, es de gran importancia mencionar que existen otros elementos de la instalación que no se han elegido, como es la válvula expansión termostática y las tuberías transporte que llevan el refrigerante de la Unidad Condensadora hacia el Evaporador y viceversa, estos elementos se puede seleccionar con la metodología hasta hora mencionada, con las condiciones de diseño de la cámara se busca en las distintas compañías distribuidoras de equipos frigoríficos, esto para poder seleccionar los elementos restantes de la instalación frigorífica sin tener tantas complicaciones.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

En el presente trabajo se diseñó de manera detallada una cámara frigorífica para elote y además se seleccionó un sistema de refrigeración por compresión de vapor con el cual opera, basándonos teóricamente en conceptos básicos para el entendimiento de este, ya que es el más utilizado para la refrigeración de productos perecederos, como lo es en nuestro caso y el más usado en la refrigeración doméstica y comercial.

La refrigeración evita la proliferación de microorganismos, pero principalmente conserva la textura fresca del producto, porque con un dimensionamiento adecuado de la cámara, de acuerdo con las propiedades físicas de conservación se logra preservar el sabor original de los alimentos durante un periodo determinado. Asimismo, no permite que la rápida maduración de los alimentos perecederos dañe el sabor y consistencia. Esta es una tarea primordial, ya que logra conservar los alimentos durante más tiempo sin afectar sus propiedades. Esto hace importantísima a la refrigeración en todas las etapas de conservación y consumo.

Por lo anterior, para una correcta conservación de frutas y hortalizas, es necesario conocer y controlar las características de las distintas variedades y así tener una correcta selección de los equipos en una instalación frigorífica.

Se logró diseñar la cámara frigorífica para conservación de elote, utilizando la metodología de balance térmico, partiendo de las condiciones de conservación del producto, como, por ejemplo, temperatura y humedad relativa de este mismo, el cual es un producto muy demandado e importante en la región.

La selección de componentes de la cámara frigorífica es una parte fundamental para mantener las condiciones de diseño, por eso es de vital importancia seleccionarlos de manera adecuada y esto se llevó a cabo con ayuda de catálogos de empresas comerciales en el área refrigeración, como son, Danfoss e Intercal. Las cuales en sus catálogos proporcionan información detallada de sus equipos, además que sus equipos de refrigeración funcionan con refrigerantes que no dañan la capa de ozono, como son el R-134A y el R-404A. Así también manejan una gran variedad de modelos que trabajan con tecnologías ahorradoras como son los compresores Scroll, el cual se eligió para este caso de estudio, por tener mayor eficiencia energética.

En el presente trabajo se ha revisado el panorama energético a nivel nacional, así como también el consumo de energía en la refrigeración, de igual forma se da el estado del arte de la refrigeración desde la antigüedad hasta lo más actual.

Finalmente se logró cumplir con los objetivos planteados, ya que se logró diseñar una cámara frigorífica tipo obra, para la conservación de elote en base a las

necesidades de la localidad y la selección de los componentes de la instalación en base a los cálculos de diseño.

### Recomendaciones

Durante el almacenamiento de los alimentos en refrigeración es necesario:

- No almacenar los alimentos directamente sobre el piso del cuarto frío, sino sobre estibas o estantes en material sanitario.
- Revisar las temperaturas de la unidad de refrigeración y llevar registro diario del control de temperatura del cuarto.
- Inspeccionar, rotular y fechar los alimentos que se almacenen. Emplear el método de rotación de mercancía, por un periodo estimado de 7 días: Primeras Entradas Primeras Salidas.
- Evitar abrir las puertas del recinto más de lo necesario y cerrarlas cuanto antes. La puerta del cuarto frío abierta supone la elevación de la temperatura interna, lo que estimula el crecimiento bacteriano, la contaminación y la alteración del alimento y que el compresor trabaje más tiempo.

### ***Óptima circulación del aire.***

Para mantener una óptima circulación del aire con la consecuente uniformidad de las condiciones internas y, para facilitar el dimensionamiento interno de los almacenes, normalmente se deberán tomar en cuenta los siguientes espacios libres entre los productos acomodados:

- Entre la pared y el producto debe haber una distancia de separación de 0.20 a 0.40 m.
- Entre un producto y otro, es recomendable una distancia de 0.10 a 0.20 m.
- El pasillo interno estará definido de acuerdo con el tipo de producto que se maneje, es decir, si son productos que no necesitan una máquina para su acomodo, basta con dejar el suficiente espacio para que una persona pueda laborar en la carga y descarga del producto.
- Hay que tener en cuenta que, por otra parte, la altura del almacén será igual a la altura de la estiba del producto más una distancia libre de 0.8 a 1.2 m, esto es indispensable para una buena circulación y distribución del aire en la parte superior de las estibas.

### ***Acomodo interno de productos.***

La forma de acomodo de productos al interior de la cámara es uno de los aspectos más importantes al momento de manipular cualquier producto envasado. De manera que la altura de acomodo o estibamiento se define por el límite de carga, dependiendo de las siguientes consideraciones:

- Resistencia de los embalajes. Hay que señalar que los productos refrigerados son más frágiles que los congelados; si los embalajes van sobre tarimas, la altura máxima de la tarima cargada no ha de ser superior a 1.70 m, si hay peligro de aplastamiento, las tarimas van provistas de convertidores (armazones metálicos que pueden quitarse, situados alrededor de la carga y que transmiten la presión de las tarimas superiores a las inferiores).
- Modo de manejo. Si es manual, la carga y descarga resultan tanto más lentas y peligrosas para el personal cuanto más altas sean las estibas, la altura máxima suele limitarse a unos 2.5 m; en cambio, si es mecánica (montacargas) las operaciones resultan mucho más rápidas y la altura que pueden alcanzar las estibas viene a ser la del límite de carga del montacargas.

***Prevenir pérdidas al refrigerar productos distintos en la misma cámara frigorífica.***

En varias aéreas del comercio de productos perecederos sobre todo de origen hortofrutícolas, es importante el conservar más de un producto en la misma cámara frigorífica, esto conlleva consigo beneficios económicos, sin embargo, puede haber pérdidas de producto por la gran cantidad contenida en el almacén que dificulta mantener las condiciones internas establecidas para solo una cantidad producto.

***Cambios de aire por apertura de puertas.***

Es frecuente dejar la puerta abierta durante las operaciones de entrada y salida de productos. Hay que tener presente, sin embargo, que el intercambio de calor por convección aumenta con la duración de la apertura, las dimensiones de la puerta, el volumen interno, y la diferencia de temperatura exterior e interior, lo cual ocasiona un aumento adicional de la carga térmica que difícilmente podrá ser compensado por el equipo de refrigeración establecido, y por consecuencia se provoca una elevación de la temperatura de almacenamiento, aunado a esto un trabajo continuo del equipo.

Se pueden reducir los intercambios de calor por convección mediante el **uso de una cortina de tiras anchas de plástico flexible y grueso, tipo hawaiana**, colocada por el lado interior, que cubra lo ancho de la puerta.

En la práctica se recomienda:

- Organizar el manejo de productos de tal manera que las entradas y salidas se hagan por partidas importantes.
- Informar claramente a los estibadores de la necesidad de cerrar las puertas, incluso para periodos cortos.

- Revisar las juntas de la puerta y los burletes del umbral, para prevenir cualquier abertura que ocasione ganancia de calor extra (en pocas palabras debe estar hermético el recinto).
- Tener un sistema de alarma o ventana de cristal en las puertas, esto para evitar accidentes, como, por ejemplo, en dado caso de que alguien se quede encerrado adentro de la cámara

***Desescarche.***

- Otro de los aspectos importantes que repercuten considerablemente en el funcionamiento del evaporador es la escarcha formada con el tiempo. Esto afecta el rendimiento o eficiencia del sistema de manera que puede trabajar más tiempo de lo necesario.
- Es conveniente realizar inspecciones continuas en el evaporador para así evitar este problema y programar un desescarche del sistema si así lo necesita.

## Bibliografía

- [1] Dossat Roy J. Principios de refrigeración, 18th ed. México: Grupo Editorial Patria, 1998, p. 109.
- [2] Moya R. "BREVE HISTORIA DE LA REFRIGERACION", Refrigeración y Aire Acondicionado, 2012. [Online]. Available: <http://proferauln.blogspot.com/2012/01/breve-historia-de-la-refrigeracion.html>. [Accessed: 01- Feb- 2019].
- [3] Romo S. "¿Cuándo surge la refrigeración mecánica? -", Revista Cero grados Celsius, 2015. [Online]. Available: <https://www.0grados.com/cuando-surge-la-refrigeracion-mecanica/>. [Accessed: 01- Feb- 2019].
- [4] Ramírez Navas J. "El helado desde la antigüedad hasta nuestros días", ResearchGate, 2015. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/273831451\\_El\\_helado\\_desde\\_la\\_antigüedad\\_hasta\\_nuestros\\_dias](https://www.researchgate.net/publication/273831451_El_helado_desde_la_antigüedad_hasta_nuestros_dias). [Accessed: 22- Feb- 2019].
- [5] Catalá G, *Historia de la nevera*. 2013.
- [6] Pérez R. "Historia de la cerveza III: La Revolución Industrial", Damcu.es, 2013. [Online]. Available: <http://www.damcu.es/historia-de-la-cerveza-iii-la-revolucion-industrial/>. [Accessed: 08- Feb- 2019].
- [7] Pinto G, "Un frigorífico de cerámica: ciencia y técnica en acción", *Naukas*, 2016. [Online]. Available: <https://naukas.com/2016/02/01/26083/>. [Accessed: 21- Mar- 2019].
- [8] Flores Murrieta F, "Fabricación, monitorización y caracterización de un equipo de aire acondicionado de bajo impacto ambiental, utilizando un sistema combinado: Refrigerador evaporativo cerámico y tubos de calor REC-TC", Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2008.
- [9] Beltrán Rodríguez L, and Alexandro Rionda R. Balance Nacional de Energía 2017, 1st ed. México, Ciudad de México: Leonardo Beltrán Rodríguez, Rafael Alexandr Rionda, 2018, pp. 23-40.
- [10] Zúñiga V. Eficiencia Energetica, 1st ed. CDMX: Víctor Gabriel Zúñiga Espinoza, 2018, p. 10.
- [11] Revista eficiencia energética numero 18 ,2018, Disponible en [http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/2018/05/REVISTAS/eficiencia\\_energetica-18/6/#zoom=z](http://www.fide.org.mx/wp-content/uploads/2018/05/REVISTAS/eficiencia_energetica-18/6/#zoom=z)
- [12] Cuevas E, Pérez J, Simon O and Velázquez J, "Diseño de una cámara frigorífica para la conservación de productos perecederos", Para obtener el título profesional de ingeniero mecánico, Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Azcapotzalco, 2014.

[13]Santana J, "Transporte refrigerado", Revista Cero Grados, 2018. [Online]. Available: <https://www.0grados.com/transporte-refrigerado/>. [Accessed: 22- Mar- 2019].

[14]Flores Murrieta F. "Fundamentos de ingeniería de la Refrigeración", Universidad de Quintana Roo, 2010.

[15]Flores Murrieta F. "Apuntes de diseño de cámaras frigoríficas", Universidad de Quintana Roo, 2018.

[16]Bery A, Bosquez E, "Principios, usos y funcionamiento del sistema de refrigeración", Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.

[17]Torres Cicuéndez D. "Diseño de cámara para la congelación y almacenamiento de pan", Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior,2014.

[18]Dippanel, "Catalogo de Puertas Frigoríficas", 2011.

[19] Ramirez J, Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. Edición de Alfred Fontanals. Barcelona, España, Edición Ceac, 2000.

[20]Solís, L. (2018) Guía básica: Principales componentes y accesorios en la refrigeración industrial. Recuperado de <https://blog.froztec.com/guia-basica-principales-componentes-y-accesorios-en-la-refrigeracion-industrial>

[21] Miranda A.L., Monleón M. (1996). Cámaras frigoríficas. España: Grupo editorial Ceac.

[22]Cooper, R.J., Comercial, industrial and institutional refrigeration, Prentice Hall, New Jersey.1987.

[23] INTERCON, Método de cálculo de evaporadores. Recuperado de <https://www.intarcon.com/pdfs/ES/Metodo%20c%C3%A1lculo%20evaporadores.pdf>

[24]Ramírez Cuenca A.M, Caracterización y Almacenamiento de Granos de Elote Criollos de la Región Otomí Tepehua del Estado de Hidalgo, Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,2006.

[25] Cantwell, M , Suslow T. Maíz Dulce: (Elote), Department of Plant Sciences, University of California, 2002.

[26] *United States Department of Agriculture. La Refrigeración y la Inocuidad de los Alimentos.* Recuperado de <https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/informational/en-espanol/hojasinformativas/manejo-adeecuado-de-alimentos/la-refrigeracion>

[27]May Lopez J, R. "Cámara Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño". Para obtener el título de Ingeniero en Sistemas de Energía. Universidad de Quintana Roo. 2013.

[28] Comisión Federal de Electricidad. (2013). Medición para acometidas trifásicas, especificaciónCFEDCMBT300.Recuperado de:

[https://www.cfe.mx/Casa/Documents/Para\\_servicios\\_de\\_red\\_aerea/Trifasica%20Internet.pdf](https://www.cfe.mx/Casa/Documents/Para_servicios_de_red_aerea/Trifasica%20Internet.pdf)

## ANEXO A

### **TABLAS DE PROPIEDADES DE DISTINTOS ALIMENTOS QUE SE REFRIGERAN EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS**

- ✓ Tabla A-1 “Calor específico de algunos alimentos y sus componentes”
- ✓ Tabla A-2 “Condiciones de conservación de verduras y frutas”
- ✓ Tabla A-3 “Sensibilidad al hielo y punto de congelación de algunas frutas y verduras”
- ✓ Tabla A-4 “Temperaturas recomendadas para la conservación prolongada de diferentes frutas”
- ✓ Tabla A-5 “Temperaturas recomendadas para la conservación prolongada de diferentes verduras”

TABLA A-1:

## “CALOR ESPECÍFICO DE ALGUNOS ALIMENTOS Y SUS COMPONENTES”

Producto	Agua 1%	Componentes Sólidos %	Calor específico		Calor latente De solidificación KJ/(kg K)
			Antes de la solidificación KJ/(kg K)	Después de la solidificación KJ/(kg K)	
Aceite	-	-	1.67	1.47	-
Anguilas	62	38	2.93	1.63	209.3
Apio	88-95	12-may	3.94	1.97	-
Aves	74	26	4.19	1.67	247
Azúcar	0.1	99.9	-	1.26	-
Bayas	84-88	16-dic	3.81	1.67-2.09	280.5-293
Bulbos, flores	91	9	3.89	2.01	305.6
Carne de carnero magra	67	33	3.06	1.72	221.9
Carne de carnero grasa	50	60	2.51	1.47	167.5
Carne de cerdo grasa	39-46	61-64	2.14	1.34	129.7-153.2
Carne de ternera	63	37	2.95	1.67	209.3
Carne de vacuno grasa	51	49	2.55	1.49	171.7
Carne de vacuo magra	72	28	3.25	1.76	234.5
Caviar	50-60	50-40	2.93	1.3	167.4-209.3
Caza	74	26	3.35	1.67	247
Cebollas comestibles	80-89	20-11	3.81	1.93	268-297
Cerezas	82	18	3.64	1.84	276.3
Cerveza	89-91	-	3.77	-	301.4
Ciruelas	87	13	3.85	1.72	293.1
Col	91	9	3.89	2.01	305.6
Crema helada (helados)	60-65	40-35	3.27	1.88	217.7
Chocolate	1.6	98.4	3.18	-	83.7-125.6
Espárragos	94	6	3.89	1.97	314
Fresas	90	10	3.85	1.97	299.8
Grasas vegetales	-	-	1.97-2.1	1.47	-
Grosella	90	10	3.85	1.93	301.4
Guisantes verdes	75	25	3.85	1.76	251.2
Harina	12- 13.5	88-86.5	1.8-1.88	-	-
Hielo (agua)	100	-	4.19	2.09	334.9

## CONTINUACION

Producto	Agua 1%	Componentes Sólidos %	Calor específico		Calor latente De solidificación KJ/(kg K)
			Antes de la solidificación KJ/(kg K)	Después de la solidificación KJ/(kg K)	
Huevos	70	30	3.18	1.67	234.5
Langosta, cangrejos	77	23	3.39	1.8	259.6
Leche	88	12	3.94	2.51	293.1
Limones	83-89	17-11	3.85	1.93	276.3-297.3
Manteca	0.7	99.3	2.51	1.93	121.4-146.5
Mantequilla	14-15	86-85	2.51-2.68	1.26	146+50 (2)
Manzana	83	17	3.85	1.76	280.5
Margarina	17-18	83-82	2.7-2.9	1.47	63+63 (2)
Melones	89	11	3.85	1.93	297.3
Miel	19	81	1.47	1.09	58.6
Naranjas	84	16	3.85	1.84	284.7
Nueces	7.2	94.8	1.05	0.92	37.7
Ostras	80	20	3.52	1.84	263.8
Pan de trigo	34	66	-	-	-
Pasta	-	-	1.88	-	-
Patatas	74	26	3.35	1.76	242.8
Peras	83	17	3.85	1.76	280.5
Pescado ahumado	-	-	3.18	-	-
Pescado fresco graso	60	40	2.85	1.59	209.3
Pescado fresco seco	73	27	3.43	1.8	255.4
Plátanos	75	25	3.35	-	251.2
Polvo de cacao	0.5	99.5	2.09	-	-
Queso graso	35-50	65-60	1.9-2.5	1.26	109-155
Queso seco	53	47	2.85	1.67	175.8
Requesón	80	20	2.93	1.88	268
Tocino (bacón)	-	-	2.3	1.3	71.2
Tomates	94	6	3.89	2.05	314
Uvas	81	19	3.68	1.88	263.8
Vino	-	-	3.77	-	-
Zanahorias	83	17	3.64	1.88	276.3

**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).

## ANEXO A

TABLA A-2:

## “CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DE VERDURAS Y FRUTAS”

Alimentos	Temperaturas de almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Duración de almacenamiento	Punto de congelación (°C)	Calor másico antes de la solidificación (kJ/Kg K)	Calor másico después de la solidificación (kJ/kg K)	Calor de congelación kJ/kg	Calor de respiración kJ/kg/día	Observaciones
<b>Carnes y productos</b>									
<b>Tocino</b>									
- fresco	+ 1 /-4	85	2-6 sem.	-2	1,53	1,1	68		
- Congelado	-18	90-95	4-6 sem.						
<b>Filete</b>									
- fresco	0 /-1	88-92	1-6 sem.	-2	3,2	1,67	231		
- Congelado	-18	90-95	9-12 sem.						
<b>Jamón</b>									
- fresco	0 /+1	85-90	7-12 días	-2	2,53	1,46	167		
- Congelado	-18	90-95	6-8 meses						
<b>Cordero</b>									
- fresco	0 /+1	85-90	5-12 días	-2	3,0	1,86	216		
- Congelado	-18	90-95	8-10 meses						
<b>Manteca de cerdo</b>									
- Fresca	7	90-95	4-8 meses		2,09	1,42	210		
- Congelado	-18	90-95	12-14 meses						
Hígado congelado	-18	90-95	3-4 meses	-2					
<b>Carne de cerdo</b>									
- Fresca	0 /+1	85-90	3-7 días		2,13	1,3	128		
- Congelado	-18	90-95	4-6 meses						
<b>Aves</b>									
- frescas	0	85-90	1 sema	-2,7	3,3	1,76	246		
- Congelado	-18	90-95	8-12 meses						
<b>Conejo</b>									
- fresco	0 /+1	90-95	1-5 días	-2,7	3,1	1,67	228		
- Congelado	-18	90-95	0-6 meses						
<b>Salchicha</b>									
-fresca	0 /+1	85-90	3-12 días	-2	3,73	2,34	216		
- Congelado	-18		2-6 meses						
<b>Vaca</b>									
- fresca	0 /+1	90-95	5-10 días	-2	3,08	1,67	223		
- Congelado	-18	90-95	8-10 meses						
<b>Legumbres</b>									
Alcachofa	- 1/ 0	90-95	1-2 sem.	1	3,64	1,88	280		
Esparrago	0/ + 2	95	2-3 sem.	-0,5	394	2,00	312	11,1	Muy sensible
Alubias Verdes	+ 4 / +7	90-95	7-10 días	-0,7	3,81	1,97	298	11,6	
Remolacha roja	0	95	3-5 meses	-1	3,77	1,92	293	3,1	

Boralis	0	90-95	10-14 días	-0,6	3,85	1,97	302	8,7	Poco sensible
Coles de bruselas	0	90-95	3-5 sem.	-0,8	3,68	1,93	284	6,7	
Coles	0	90-95	3-4 meses	-0,9	3,94	1,97	307	1,4	
Zanahoria	0	90-95	4-5 meses	-1,4	3,76	1,93	293	2,4	
Coliflor	0	90-95	2-4 semanas	-0,8	3,89	1,97	307	4,5	
Apio	0	90-95	2-3 meses	-0,5	3,98	2,0	314	1,9	Poco sensible
Maíz	0	90-95	4-8 días	-0,5	3,31	1,76	246		
Pepino	+7 / +10	90-95	10-14 días	-0,5	4,06	2,05	319		
Endibia	0	90-95	2-3 sem.	-0,6	3,94	2,0	307		
Ajo	0	65-70	6-7 mese	-0,8	2,89	1,67	207		
Puerro	0	90-95	1-3 meses	-0,7	3,68	1,93	293	10,8	
Lechuga	0	95	2-3 sem.	-0,1	4,02	2,0	316	3,9	Poco sensible
Melón	+2 / +4	85-90	5-15 día	-1,1	3,89	2,0	307	1,5	Poco sensible
Melón Honeydrew	+7/ +10	85-90	3-4 sem.	-0,9	3,94	2,0	307	1,2	
Sandia	+4 /+10	80-85	2-3 sem.	-0,4	4,06	2,0	307		
Chanpiñon	0	90	3-4 días	-0,9	3,89	1,97	302	7,2	
Aceituna	+7 / +10	85-90	4-6 sem.	-1,5	3,25	1,76	251	1,0	
Cebolla	0	65-70	1-8 meses	-0,8	3,77	1,93	288	1,0	Poco sensible
Guisante	0	90-95	1-3 sem.	-0,6	3,31	1,76	246	9,6	Poco sensible
Pimienta	+7 / +10	90-95	2-3 sem.	-0,7	3,94	1,97	307	3,14	Muy sensible
Planta nueva	+10/+13	90	2-4 sem.	-0,6	3,56	1,84	270	3,0	
Planta tardía	+3/+10	90		-0,6	3,43	1,80	258	1,8	Muy sensible
Ruibarbo	0	95		-0,9	4,02	2,0	312		
Espinaca	0	90-95	10-14 días	-0,3	3,94	2,0	307	11,1	
Tomate verde	+ 13/+21	85-90	1-3 sem.	-0,5	3,98	2,0	312	7,2	
- Morado	+7/0	85-90	4-7 días	-0,5	3,94	2,0	312	4,3	Muy sensible
Nabo	0	90-95	4-5 meses	-1,0	3,89	1,97	302	2,2	

#### Frutas

Manzanas	-1/-4	90	2-6 sema.	-1,5	3,64	1,88	281	1,92	
Albaricoques	-0,6/0	90	1-2 sema.	-1,0	3,68	1,92	284		Muy sensible
Aguacates	+7/+13	85-90	2-4 sem.	-0,3	3,01	1,67	219	25,6	Muy sensible
Plátanos	+13/+15	90	5-10 días	-0,8	3,35	1,76	251		
	-0,6/0	95	3 días	-0,8	3,68	1,92	284		
Cereza	-0,6/0	90-95	2.3 sem.	-1,8	3,64	1,88	280	1,8	
Nuez de coca	0/+2	80-85	1-2 meses	-0,8	2,43	1,42	156		
	+2/+4	90-95	2-4 meses	-0,8	3,77	1,93	288	1,1	Poco sensible
Grosellas	-0,6/0	90-95	10-14 días	-1,0	3,68	1,88	280		
<b>Dátiles</b>									
- secos	-18/0	<75	6-12 meses	-15,7	1,51	1,08	67		
Higos – secos	0/+4	50-60	9-12 meses		1,63	1,13	80		
Grosellas	-0,5/0	90-95	2-4 sem.	-1,1	3,77	2,93	293		

Pomelos	+10/+16	85-90	4-6 sem.	-1,1	3,81	1,93	293	3,6	Poco sensible
Uvas	-1/0	80-85	1-6 meses	-2,2	3,60	1,84	270	0,4	Poco sensible
Limones	+14/+16	86-88	1-6 meses	-1,4	3,81	1,93	295	4,24	Muy sensible
Naranjas	0/+9	85-90	3 + 12 sem.	-0,8	3,77	1,92	288	1,68	Poco sensible
Melocotón	-0,5/0	90	2-4 sem.	-0,9	3,77	1,92	288	1,34	Poco sensible
Peras	-1,7/-1	90-95	2-7 sem	-1,5	3,60	1,88	274	0,93	Poco sensible
<b>Ananas</b>									
-Verdes	+10/+13	85-90	3-4 sem.	-1,0	3,68	1,88	283		
-Maduras	+7,2	85-90	2-4 sem.	-1,1	3,68	1,88	283		
Ciruelas	-0,5/0	90-95	2-4 sem.	-0,8	3,68	1,88	274	0,64	Poco sensible
Granadas	0	90	2-4 sem	-3,0					
Frambuesas	-0,5/0	90-95	2-3 días	-0,6	3,56	1,86	284		
Fresas	-0,5/0	90-95	5-7 días	-0,8	3,85	1,76	300	5,47	
Mandarinas	0/+3	90-95	2-4 sem.	-1,0	3,77	1,93	290	3,78	

#### Pescados

<b>Pescado</b>									
-fresco	+0,6 /+2	90-95	5-15 días	-2,2	3,26	1,74	245		
-ahumado	+4/+10	50-60	6-8 meses	-2,2	2,93	1,63	213		
<b>Pescados</b>	+4/+10	90-95	10-12 meses	-2,2	3,18	1,72	232		
<b>Pescados</b>									
-salado	-2/-1	75-90	4-8 meses	-2,2	3,18	1,72	232		
- congelado	-18	90-95	6-12 meses	-2,2		1,74	245		
<b>Mejillón</b>									
-fresco	-1/-05	85-90	3-7 días	-2,2	3,62		277		
- congelado	-18/-29	90-95	3-8 meses	-2,2		1,88	277		

#### Productos lácteos

<b>Mantequilla</b>									
-Congelada	0/+4	80-85	2 meses	-5,6	1,38	1,05	53		
Queso	-18	70-85	8-12 meses	-5,6	1,38	1,05	53		
Crema	-1/-2	65-70		-1,7	2,10	1,30	126		
Crema glaseada	-18	-	2-3 meses		3,27	1,76	242		
Leche pasteurizada	-18	-	1-2 meses		2,93	1,63	207		
Leche condensada	+0,6	-	7 días	-0,6	3,77	2,51	290		
Leche alta temp.	4	-	Var. Meses			-	93		
Leche entera	Temperatura ambiente	-	1 año		3,01	-	246		
Leche descremada	+7/+13	-	1 mes		0,92	-	9,3		
<b>Huevos</b>									
- Crudos	+7/+13	-	Var. Meses		0	-	9,3		
- Frescos	-2/0	85-90	5-6 meses	-2,2	3,05	-	223		
	0	-	1 año	-2,2		1,76	246		

Alimentos diversos									
Cerveza	12	-	3-6 sem.	-2,2	3,85		300		
Pan	-18	-	4-6 meses		2,93	1,42	115		
Miel	< +10	-	1 año		1,46	1,10	60		
Lúpulo	-1,6/0	80-60	Var. Meses						
Helados	-4	80	-			1,29			
Champiñón	+1,1	75,80	8 meses						
Maíz	0/+4	75-80	2 sem.						
Plantas verdes	0/+2	85-90	3-6 meses						
Aceite de mesa	+2,0	-	1 año						
Margarina	+2,0	60-70	1 año		1,34	1,05	51		

**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).

## ANEXO A

**TABLA A-3:**

### "SENSIBILIDAD AL HIELO Y PUNTO DE CONGELACIÓN DE ALGUNAS FRUTAS Y VERDURAS"

Especies muy sensibles	Punto de congelación °C	Especies medianamente sensibles	Punto de congelación °C	Especies menos sensibles	Punto de congelación °C
Espárragos	-1.1°	Manzanas	-2.2°	Remolachas	-2.8°
Plátanos	-1.1°	Uvas	-2° a -4°	Zanahorias	-1.1°
Judías verdes	-1.1°	Peras	-2.2°	Coliflores	-1.1°
Pepinos	-0.5°	Melocotones	-1.7°	Salsifis	-1.7°
Berenjenas	-1.1°	Lechugas	-0.5°	Espinacas	-1.1°
Limonos	-2.2°	Cebollas	-1.1°	Coles (viejas)	-0.5°
Patatas	-1.7°	Coles	-0.5°	Nabos	-0.5°
Tomates	1.1°	Apios	-1.1°		

**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. "Cálculo de necesidades frigoríficas" (Ramírez, 2000).

**TABLA A-4:**

**“TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA LA CONSERVACIÓN  
PROLONGADA DE DIFERENTES FRUTAS”**

<b>Especie</b>	<b>Temperatura en °C</b>		<b>Duración máxima aproximada de almacenaje</b>
Albaricoques	-0.5 °	0°	1 a 3 semanas
Plátanos	11.5°	14°	10 a 20 días
Cerezas	-1°	0°	10 a 14 días
Limonos	12°	14°!	1 a 4 meses
Fresas	-0.5°	0°	7 a 10 días
Naranjas	2°	4.5°	1 a 4 meses
Melocotones	-0.5°	0°	2 a 6 semanas
Peras	-1°	0°	1 a 3 meses
Manzanas	-1°	4°	3 a 6 meses
Ciruelas	-0.5°	0°	2 a 4 semanas
Uvas	-1°	0°	2 a 6 meses
Tomates	10°	11.5°	1 a 3 semanas

**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. “Cálculo de necesidades frigoríficas” (Ramírez, 2000).

TABLA A-5:

**“TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA LA CONSERVACIÓN  
PROLONGADA DE DIFERENTES VERDURAS”**

Especie	Temperatura en °C			Duración máxima aproximada de almacenaje
Alcachofa		0°		3 a 4 semanas
Espárragos		0°		2 a 4 semanas
Zanahoria (amarilla)		0°		1 a 2 semanas
Zanahoria (normal)		0°		4 a 6 meses
Apio		0°		1 a 3 meses
Col (var. Europea)		0°		2 a 4 meses
Coliflor	10°			3 a 5 semanas
Pepino	10°		11.5°	7 a 10 días
Espinacas		0°		10 a 14 días
Judías verdes		3.5°		10 a 20 días
Cebollas	-1°		0°	6 meses
Guisantes (en vaina)	-0.5°		0°	1 a 2 semanas
Patatas (nuevas)	3°		4°	2 a 3 semanas
Patatas (normal)	4.5°		6°	4 a 8 meses
Ensalada		0°		1 a 2 semanas
Tomate	10°		11.5°	1 a 3 semanas

**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. “Cálculo de necesidades frigoríficas” (Ramírez, 2000).

## ANEXO B

### **TABLAS Y DIAGRAMAS UTILES EN APLICACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CÁMARAS FRIGORIFICAS**

- ✓ Tabla B-1 “Valores de conductividad y aislamiento térmico de diversos materiales”
- ✓ Tabla B-2 “Valores de propiedades para metales (Sistema de unidades SI)”
- ✓ Tabla B-3 “Valores de propiedades para no metales (Sistema de unidades SI)”
- ✓ Diagrama B-4 “Carta psicrométrica a nivel del mar en unidades métricas SI”

**ANEXO B**

**TABLA B-1:**

**“VALORES DE CONDUCTIVIDAD Y AISLAMIENTO TÉRMICO DE DIVERSOS MATERIALES”**

<b>Material</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Conductividad <math>\lambda</math> (W/m K)</b>	<b>Aislamiento térmico M (m<sup>2</sup> K/W)</b>
<b>MATERIAL RESISTENTE</b>			
Tabique rojo recocido común			
* Al exterior	2,000	0.872	---
* Con recubrimiento impermeable por fuera	---	0.768	---
* Al interior	---	0.698	---
Tabique de barro extruido			
* Sólido vidriado, p/acabado exterior	2,050	1.282	---
* Bloque hueco vertical, (60 a 67 % solido)	2,050	0.998	---
* Bloque hueco vertical, relleno con vermiculita	2,050	0.575	---
Tabique ligero con recub. Imperm. por fuerza			
* Densidad	1,600	0.698	---
* Densidad	1,400	0.582	---
* Densidad	1,200	0.523	---
* Densidad	1,000	0.407	---
Tabique ligero al exterior	1,600	0.814	---
Bloque de concreto celular curado c/ autoclave			
* Densidad	450	0.120	---
* Densidad	600	0.210	---
Bloque de concreto celular curado c/ autoclave			
* Densidad	500	0.190	---
* Densidad	600	0.210	---
Bloque de concreto			
* 20 cm de espesor, 2 o 3 huecos	1,700	---	0.180
* El mismo con perlita	1,700	---	0.360
* El mismo con vermiculita	1,700	---	0.300
Concreto			
* Armado	2,300	1.740	---
* Simple al exterior	2,200	1.280	---
* Ligero al exterior	1,250	0.698	---
* Ligero al interior	1,250	0.582	---

**ANEXO B**

**CONTINUACIÓN...**

<b>Material</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Conductividad <math>\lambda</math> (W/m K)</b>	<b>Aislamiento térmico M (m<sup>2</sup> K/W)</b>
<b>MATERIAL RESISTENTE</b>			
Mortero			
* Cemento arena	2,000	0.630	---
* Con vermiculita	500	0.180	---
* Con arcilla expandida	750	0.250	---
Asbesto cemento, placa	1,800	0.582	---
Asbesto cemento, placa	1,360	0.250	---
Bloque			
* Tepetate o arenisca calcárea al exterior	---	1.047	---
* Tepetate o arenisca calcárea al interior	---	0.930	---
* De adobe al exterior	---	0.930	---
* De adobe al interior	---	0.582	---
Piedra			
* Caliza	2,180	1.400	---
* Granito, basalto	2,600	2.500	---
* Mármol	2,500	2.000	---
* Pizarra	2,700	2.000	---
* Arenisca	2,000	1.300	---
Madera			
* Viruta aglutinada, (Parmacon)	700	0.163	---
* Blanda	610	0.130	---
* Dura	700	0.150	---
Vidrio			
* Sencillo	2,200	0.930	---
* Sencillo	2,700	1.16	---
Metales			
* Aluminio	2,700	204.000	---
* Cobre	8,900	372.200	---
* Acero y fierro	7,800	52.300	---
<b>MATERIAL DE RECUBRIMIENTO</b>			
Tablero de asbesto cemento	1,932	0.557	---
* Espesor 0.32 cm	1,932	---	0.005
* Espesor 0.84 cm	1,932	---	0.11
Tablero de triplay	---	0.115	---
* Espesor 0.64 cm	---	---	0.055
* Espesor 0.96 cm	---	---	0.083

**ANEXO B**

**CONTINUACIÓN...**

<b>Material</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Conductividad <math>\lambda</math> (W/m K)</b>	<b>Aislamiento térmico M (m<sup>2</sup> K/W)</b>
<b>MATERIAL DE RECUBRIMIENTO</b>			
* Espesor 1.27 cm	---	---	0.11
* Espeso 1.60 cm	---	---	0.137
* Espesor 1.90 cm	---	---	0.165
Tablero de yeso			
* Espesor 0.96 cm	---	---	0.057
* Espesor 1.27 cm	---	---	0.083
* Espesor 1.69 cm	---	---	0.11
Aplanados			
* Yeso	800	0.372	---
* Mortero de cal al exterior	---	0.872	---
* Mortero de cal al interior	---	0.698	---
Rellenos			
* Tierra, arena o grava expuesta a la lluvia	---	2.326	---
* Terrados secos en azoteas	---	0.582	---
* Tezontle	---	0.186	---
* Arena seca, limpia	1,700	0.407	---
Placas			
* Fibracel	1,000	0.128	---
Azulejos y mosaicos	---	1.047	---
Ladrillo exterior	---	0.872	---
Ladrillo exterior con recubr. imprm. por fuera	---	0.768	---
Madera (humedad 12 %)			
* Pino	663	0.162	---
* Cedro	505	0.130	---
* Roble	753	0.180	---
* Fresno	674	0.164	---
Membranas impermeabilizantes			
* Membranas asfálticas	1,127	0.170	---
* Asfalto bituminoso	1,050	0.174	---
* Filtro de papel permeable	---	---	0.011

**Fuente:** Elaboración propia tomada de la NOM-018-ENER valores de conductividad y aislamiento térmico de diversos materiales (secretaría de energía, 2001).

**TABLA B-2:**  
**“VALORES DE PROPIEDADES PARA METALES (SISTEMA DE UNIDADES SI)”**

Metal	Propiedades a 20 °C				Conductividad térmica, λ (W/mK)									
	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kgK) *10 <sup>3</sup>	λ (W/mK)	α (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-5</sup>	- 100	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200
					°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Aluminio puro:	2,707	0.896	204	8.418	- 148 °F	32 °F	212 °F	392 °F	572 °F	752 °F	1112 °F	1472 °F	1832 °F	2192 °F
Al-Cu (duralumin) 94-96 Al, 3-5 Cu, pizca Mg	2,787	0.883	164	6.876	215	202	206	215	228	249				
Al-Mg (Hydronalium) 91-95 Al, 5-9 Mg	2,611	0.904	112	4.764	126	159	182	194						
Al-Si (silumin) 87 Al, 13 Si	2,659	0.871	184	7.099	33	109	125	142						
Al-Si (silumin, con cobre 86.5 Al, 1 Cu)	2,659	0.887	137	5.933	149	163	175	185						
Al-Si (Alusil) 78-80 Al, 20-22 Si	2,627	0.854	161	7.172	119	137	144	138	161					
Al-Mg-Si 97 Al, 1 Mg, 1 Si, 1 Mn	2,707	0.892	177	7.311	144	157	168	175	178					
Plomo	11,373	0.13	35	2.343		175	189	204						
Hierro puro	7,897	0.452	73	2.034	36.9	35	33.4	31.5	29.8					
Hierro forjado (CH 0.5 %)	7,849	0.46	59	1.696	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36
Hierro fundido (C~4 %)	7,272	0.42	52	1.703		59	57	52	48	45	36	33	33	33
Acero (C mas ~ 1.5 %)														
Carbón endurecido C~0.5 %	7,833	0.465	54	1.474		55	52	48	45	42	35	31	29	31
1.00%	7,801	0.473	43	1.172		43	43	42	40	36	33	29	28	29
1.50%	7,753	0.486	36	0.97		36	36	36	35	33	31	28	28	29
Niquel endurecido Ni ~ 0%	7,897	0.452	73	2.026										
10%	7,945	0.46	26	0.72										
20%	7,993	0.46	19	0.526										
30%	8,073	0.46	12	0.325										
40%	8,169	0.46	10	0.279										
50%	8,266	0.46	14	0.361										

CONTINUACIÓN...

Metal	Propiedades a 20 °C				Conductividad térmica, λ (W/mK)									
	ρ (kg/m³)	Cp (J/kgK) *10 <sup>3</sup>	λ (W/mK)	α (m²/s) *10 <sup>-5</sup>	- 100	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200
					°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
60%	8,378	0.46	19	0.493										
70%	8,506	0.46	26	0.666										
80%	8,618	0.46	35	0.872										
90%	8,762	0.46	47	1.156										
100%	8,906	0.46	90	2.276										
Invar Ni = 36 %	8,137	0.452	10.7	0.286										
Cromo endurecido Cr = 0 %	7,897	0.46	73	2.026	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36
1%	7,865	0.46	61	1.665		62	55	52	47	42	36	33	33	
2%	7,865	0.46	52	1.443		54	48	45	42	38	33	31	31	
5%	7,833	0.46	40	1.11		40	38	36	36	33	29	29	29	
10%	7,785	0.46	31	0.867		31	31	31	29	29	28	28	29	
20%	7,689	0.46	22	0.635		22	22	22	22	24	24	26	29	
30%	7,625	0.46	19	0.542										
Cr-Ni (cromo-níquel): 15 Cr, 10 Ni	7,865	0.46	19	0.526										
18 Cr, 8 Ni (V2 A)	7,817	0.46	16.3	0.444		16	17	17	19	19	22	26	31	
20 Cr, 15 Ni	7,833	0.46	15.1	0.415										
25 Cr, 20 Ni	7,865	0.46	12.8	0.361										
Ni-Cr (níquel-cromo): 80 Ni, 15 Cr	8,522	0.46	17	0.444										
60 Ni, 15 Cr	8,266	0.46	12.8	0.333										
40 Ni, 15 Cr	8,073	0.46	11.6	0.305										
20 Ni, 15 Cr	7,865	0.46	14	0.39		14	15.1	15.1	16.3	17	19	22		

Cr-Ni-Al: 6 Cr, 1.5 Al, 0.55 Si (Sicromal 8)	7,721	0.49	22	0.594										
24 Cr, 2.5 Al, 0.55 Si (Sicromal 12 %)	7,673	0.494	19	0.501										

**ANEXO B**

**CONTINUACIÓN...**

Metal	Propiedades a 20 °C				Conductividad térmica, λ (W/mK)									
	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kgK) *10 <sup>3</sup>	λ (W/mK)	α (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-5</sup>	- 100	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200
					°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Manganeso endurecido Mn = 0%	7,897	0.494	73	1.863										
1%	7,865	0.46	50	1.388										
2%	7,885	0.46	38	1.05		38	36	36	36	35	33			
5%	7,849	0.46	22	0.637										
10%	7,801	0.46	17	0.483										
Tungsteno endurecido W = 0 %	7,897	0.452	73	2.026										
1%	7,913	0.448	66	1.858										
2%	7,961	0.444	62	1.763		62	59	54	48	45	36			
5%	8,073	0.435	54	1.525										
10%	8,314	0.419	48	1.391										
20%	8,826	0.389	43	1.249										
Silicón endurecido Si = 0 %	7,897	0.452	73	2.026										
1%	7,769	0.46	42	1.164										
2%	7,673	0.46	31	0.888										
5%	7,417	0.46	19	0.555										
Cobre puro	8,954	0.3831	386	11.234	407	386	379	374	369	363	353			
Aluminio bronceado 95 Cu, 5 Al	8,666	0.41	83	2.33										
Bronce 75 Cu, 25 Sn	8,666	0.343	26	0.859										
Latón rojo 85 Cu, 9 Sn, 6 Zn	8,714	0.385	61	1.804		59	71							

Latón 70 Cu, 30 Zn	8,522	0.385	111	3.412	88		128	144	147	147				
Plata alemana 62 Cu, 15 Ni, 22 Zn	8,618	0.394	24.9	0.733	19.2		31	40	45	48				
Constantan 60 Cu, 40 Ni	8,922	0.41	22.7	0.612	21		22.2	26						
Magnesio puro	1,746	1.013	171	9.708	178	171	168	163	157					

## ANEXO B

### CONTINUACIÓN...

Metal	Propiedades a 20 °C				Conductividad térmica, $\lambda$ (W/mK)									
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kgK) *10 <sup>3</sup>	$\lambda$ (W/mK)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-5</sup>	- 100 °C	0 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	1200 °C
					- 148 °F	32 °F	212 °F	392 °F	572 °F	752 °F	1112 °F	1472 °F	1832 °F	2192 °F
Mg-Al (electrolítico) 6-8 % Al, 1-2 % Zn	1,810	1	66	3.605		52	62	74	83					
Mg.Mn 2 % Mn	1,778	1	114	6.382	93	111	125	130						
Mg-Mn 2 % Mn	1,778	1	114	6.382	93	111	125	130						
Molibdeno	10,220	0.251	123	4.79	138	125	118	114	111	109	106	102	99	92
Niquel: puro (99.9 %)	8,906	0.4459	90	2.266	104	93	83	73	64	59				
Purísima (99.2 %)	8,906	0.444	69	1.747		69	64	59	55	52	55	62	67	69
Ni-Cr 90 Ni, 10 Cr	8,666	0.444	17	0.444		17	18.9	20.9	22.8	24.6				
80 Ni, 20 Cr	8,314	0.444	12.6	0.343		12	13.8	15.6	17.1	18.9	22.5			
Plata: Impuro	10,524	0.234	419	17.004	419	417	415	412						
Pura (99.9 %)	10,524	0.234	407	16.563	419	410	415	374	362	360				
Tungsteno endurecido W = 0 %	19,350	0.1344	163	6.271		166	151	142	133	126	112	76		
Zinc, puro	7,144	0.3843	112.2	4.106	114	112	109	106	100	93				
Estaño puro	7,304	0.2265	64	3.884	74	66	59	57						

Fuente: Cámaras Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño. (May López J, R. 2013)

TABLA B-3:

“VALORES DE PROPIEDADES PARA NO METALES (SISTEMA DE UNIDADES SI)”

Material	t, C	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$C_p$ J/Kg K * 10 <sup>3</sup>	$\lambda$ W/m K	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-5</sup>
Aerogel, sílica	120	136.2		0.022	
Asbestos	-200	469.3		0.074	
	0	469.3		0.156	
	0	576.7	0.816	0.151	
	100	576.7	0.816	0.192	
	200	576.7		0.208	
	400	576.7		0.223	
	-200	696.8		0.156	
	0	696.8		0.234	
Ladrillo, seco	20	1,762-1, 810	0.84	0.38-0.52	0.028-0.034
Baquelita	20	1,273.50	1.59	0.232	0.0114
Cartón, corrugado				0.064	
Arcilla	20	1,457.70	0.88	1.279	0.101
Concreto	20	1,906-2, 307	0.88	0.81-1.40	0.049-0.070
Carbón, antracita	20	1,201-1, 506	1.26	0.26	0.013-0.015
Pulverizado	30	737	1.3	0.116	0.013
Algodón	20	80	1.3	0.059	0.194
Concreto	20	1,906-2, 307	0.878	0.81-1-40	0.048-0-069
Corcho, tabla	30	160		0.043	
Raspadura, expandida	20	44.9-118.5	1.88	0.036	0.015-0-044
Triturado	30	150.6		0.043	
Tierra fina	38	320.4		0.062	
	871	320.4		0.142	
Tierra, arena ordinaria	20	2,050	1.84	0.52	0.0139
Fieltro lana	30	330		0.05	
Fibra, tabla aislante	21	237.1		0.048	
Roja	20	1,289.50		0.47	
Placa de vidrio	20	2,707	0.8	0.76	0.034
Vidrio, borosilicato	30	2,227		1.09	
Lana	20	200.2	0.67	0.04	0.028

## CONTINUACIÓN

Material	t, C	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Cp J/Kg K * 10 <sup>3</sup>	$\lambda$ W/m K	A (m <sup>2</sup> /s) *10 <sup>-5</sup>
Granito				1.7-4.0	
Hielo	0	913	1.93	2.22	0.124
Marmol	20	2,499-2, 707	0.808	2.8	0.139
Caucho, duro	0	1,198.20		0.151	
Piedra arenisca	20	2,162-2, 307	0.71	1-63-2.1	0.106-0.126
Seda	20	57.7	1.38	0.036	0.044
Madera, radial de roble	20	609-801	2.39	0.17-0.21	0.0111-0.0121
Radial de pino (20% de humedad)	20	416.5-421.3	2.72	0.14	0.0124

**Fuente: Cámaras Frigoríficas. Estado del Arte y Metodología de Diseño. (May López J, R. 2013)**

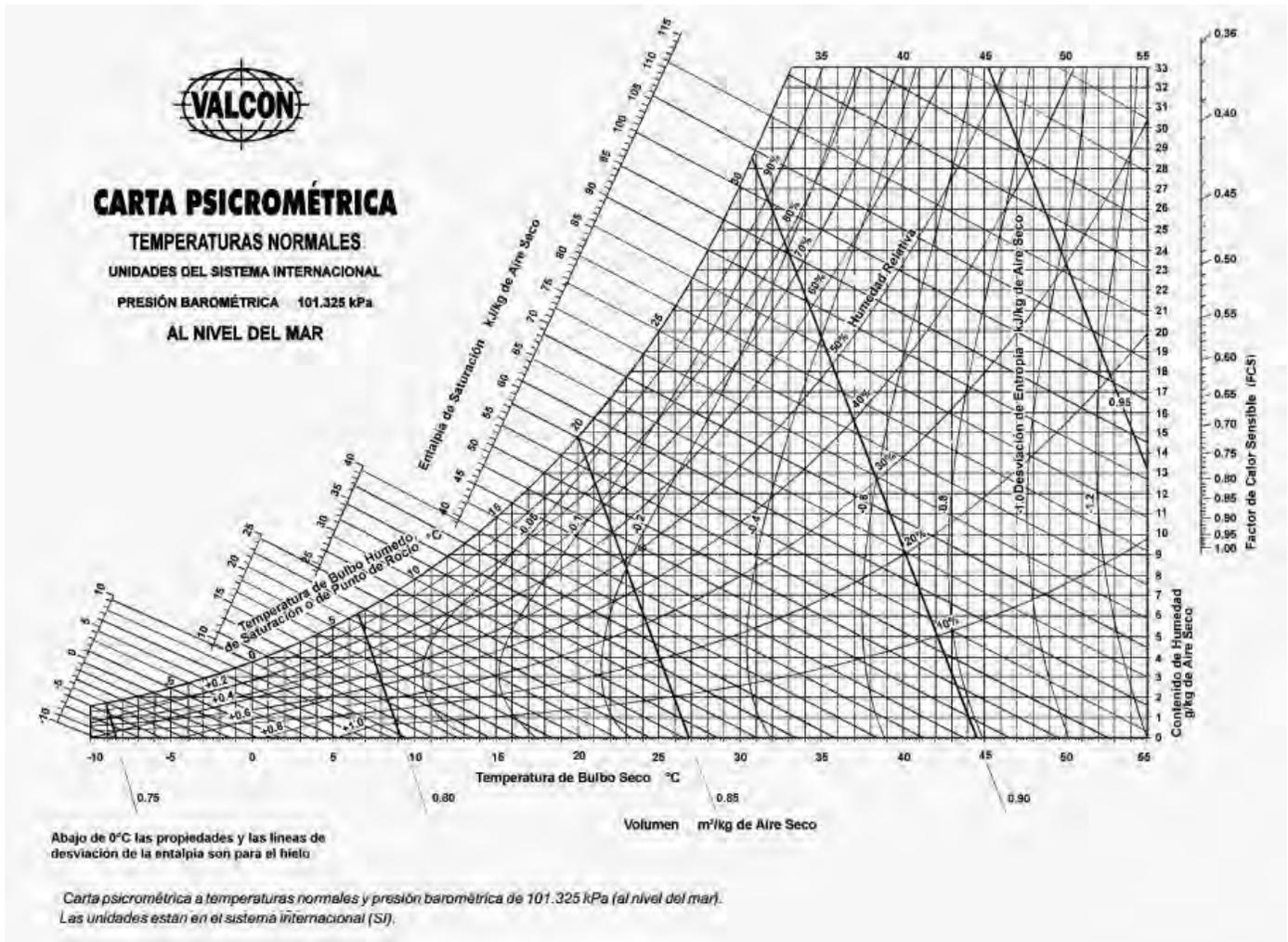


Figura B-4. Carta psicrométrica.

Fuente: Apuntes de diseño de cámaras frigorífica. Universidad de Quintana Roo. (Flores Murrieta F, E. 2019).

## ANEXO C

### **DIAGRAMAS DE ALGUNOS REFRIGERANTES FRIGORÍFICOS**

- ✓ Figura C-1 “Diagrama p-h del refrigerante R-22”
- ✓ Figura C-2 “Diagrama p-h del refrigerante R-23”
- ✓ Figura C-3 “Diagrama p-h del refrigerante R-134a”
- ✓ Figura C-4 “Diagrama p-h del refrigerante R-404A”
- ✓ Figura C-5 “Diagrama p-h del refrigerante R-407C”
- ✓ Figura C-6 “Diagrama p-h del refrigerante R-717 (NH<sub>3</sub>)”

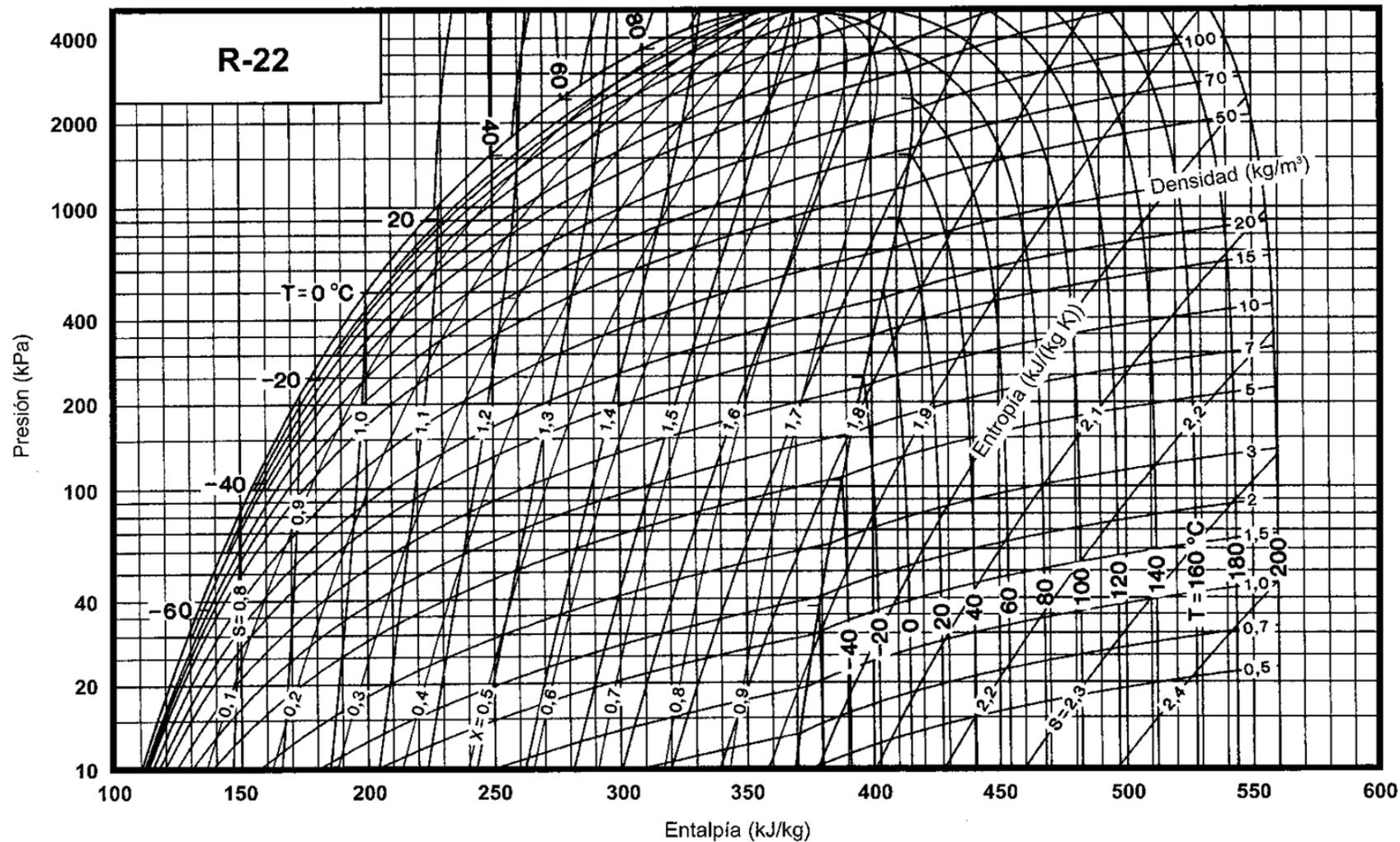


Figura C-1. Diagrama p-h del refrigerante R-22.

Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).

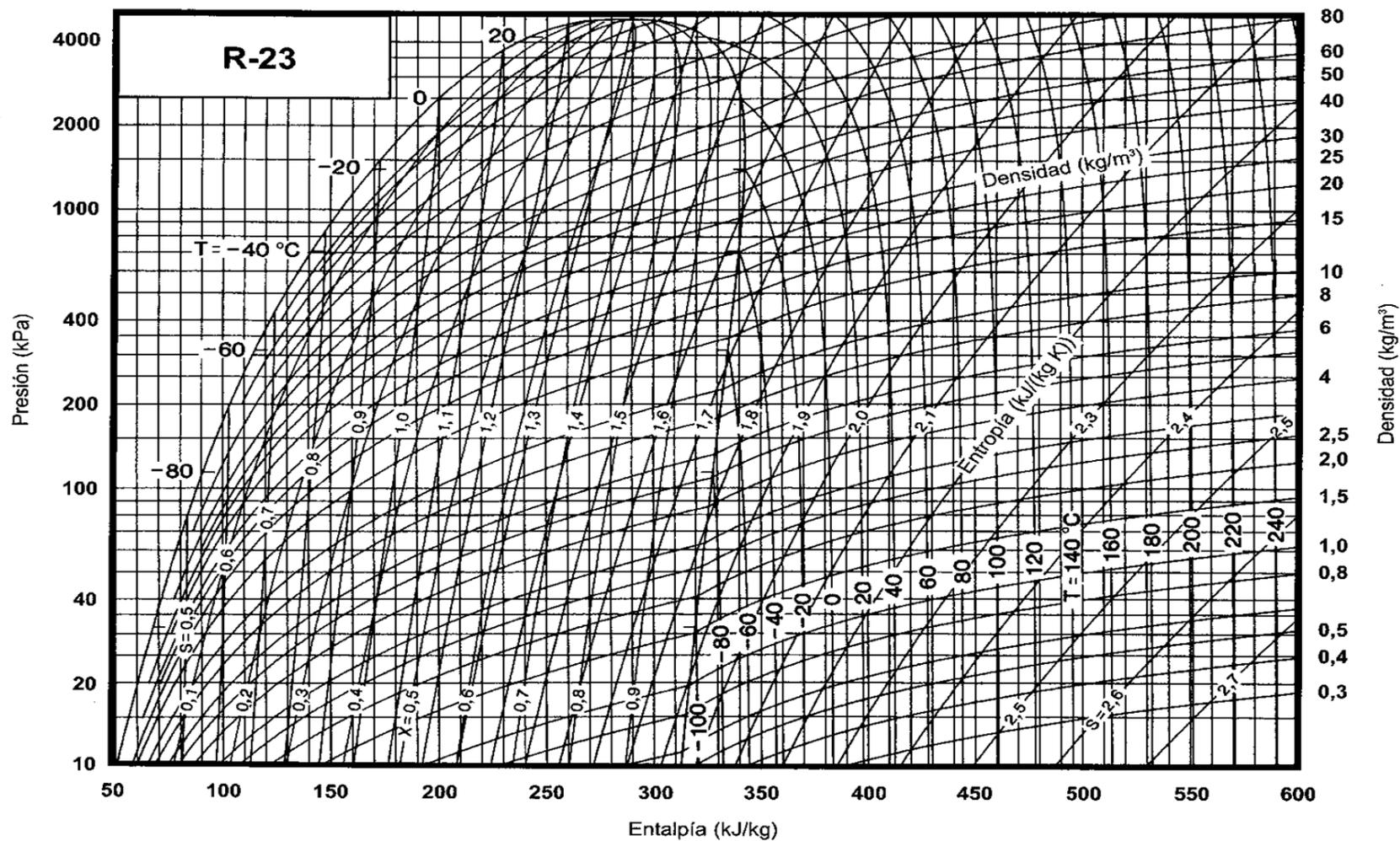


Figura C-2. Diagrama p-h del refrigerante R-23.

Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).

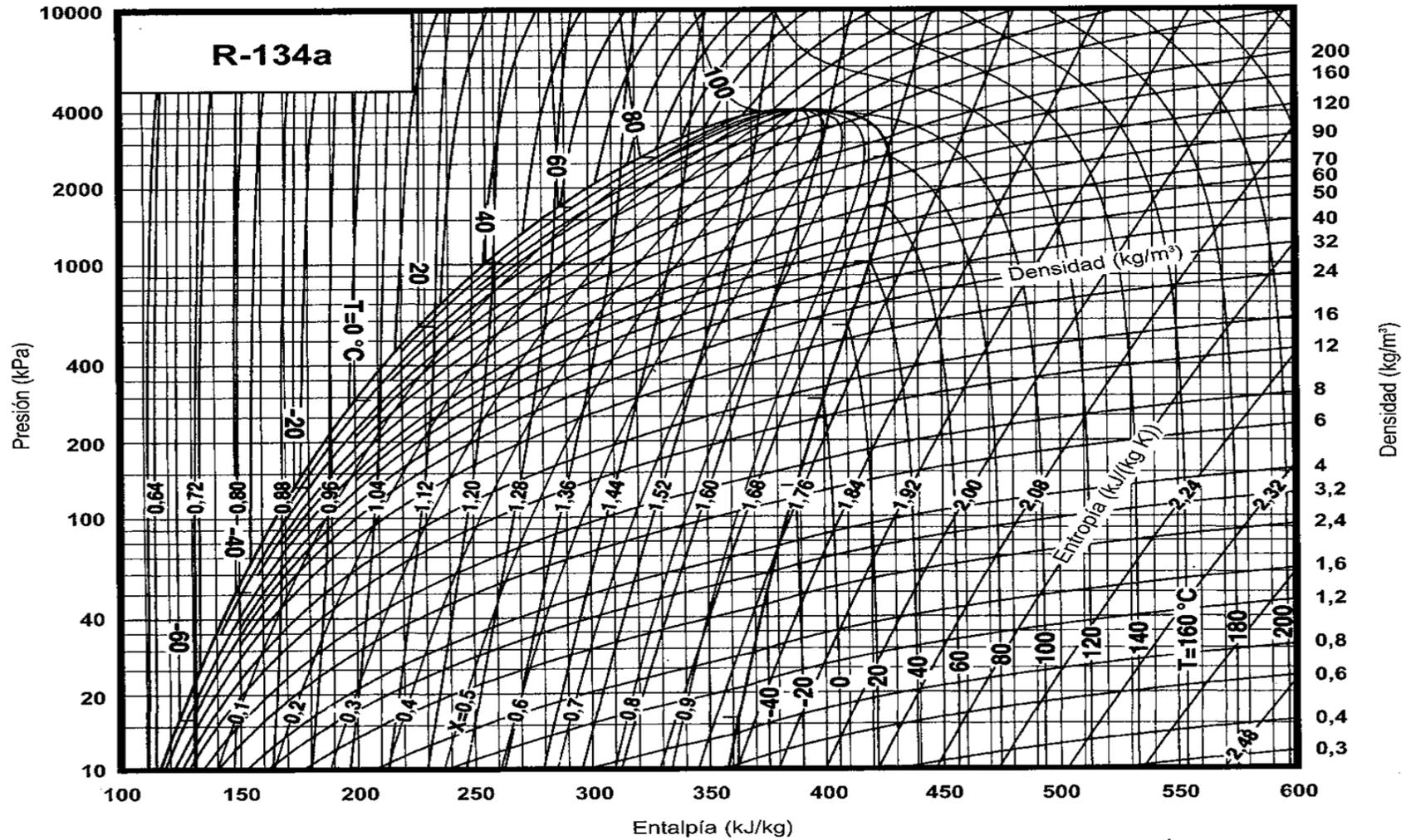


Figura C-3. Diagrama p-h del refrigerante R-134a.

Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).

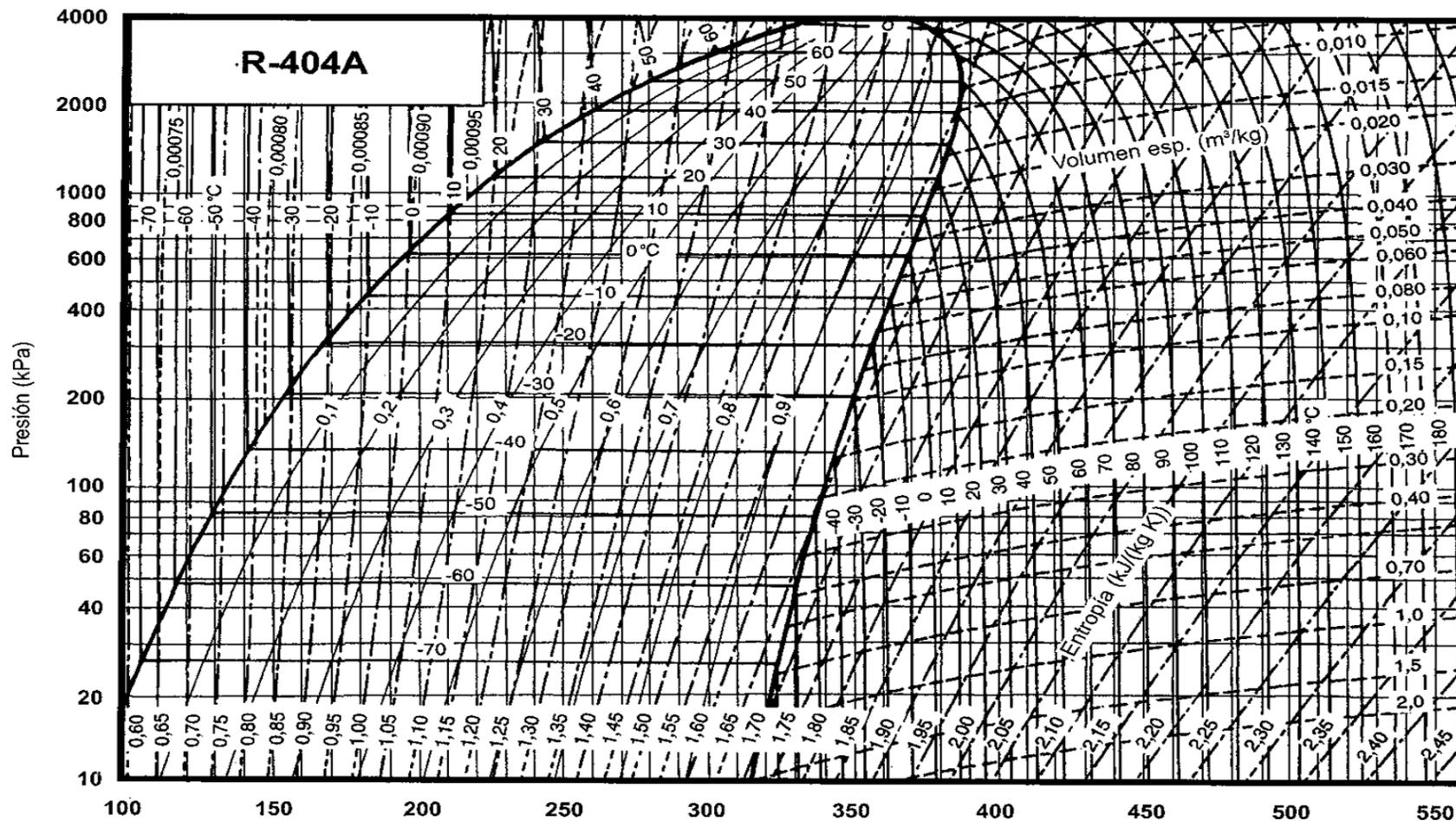
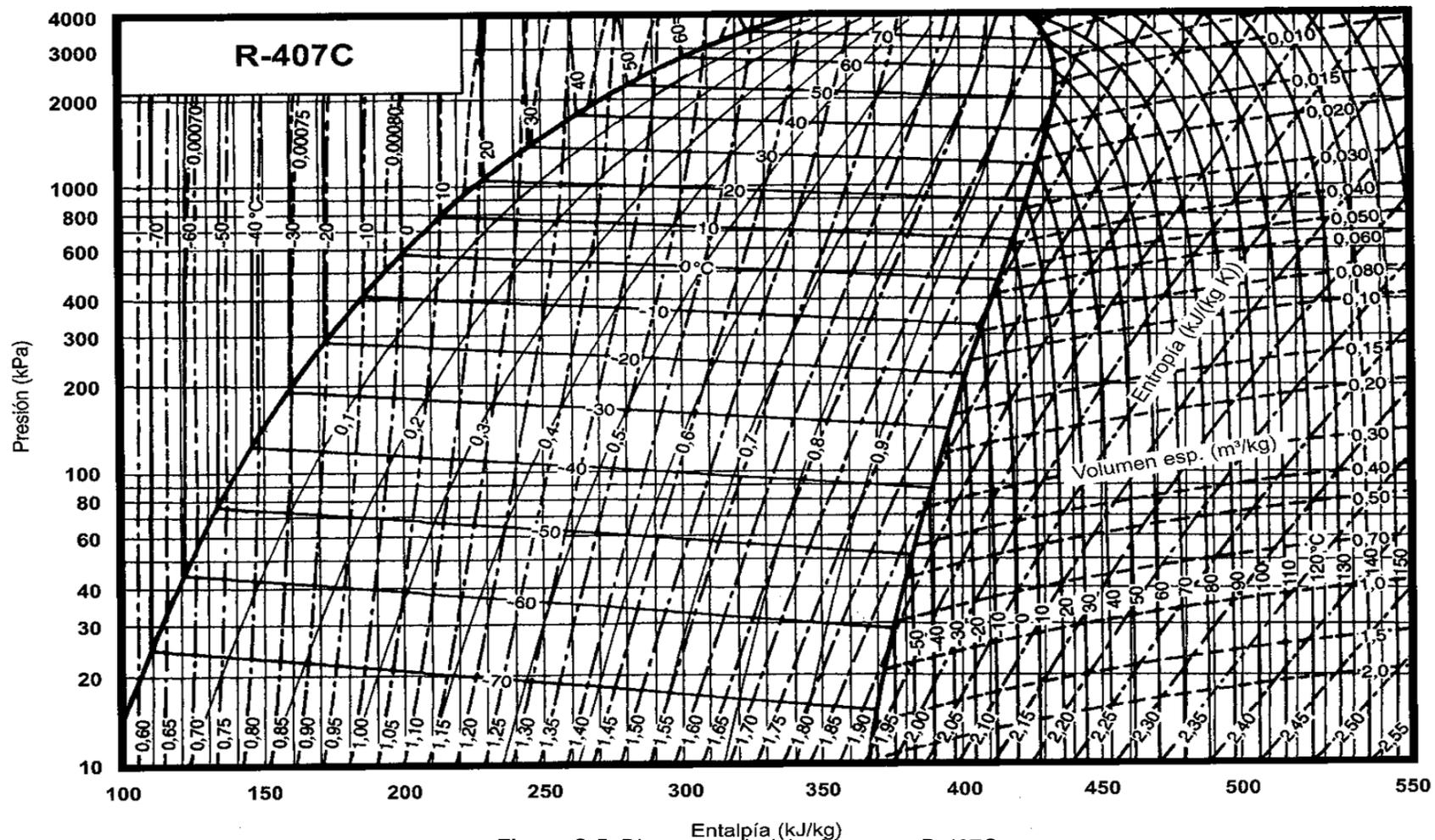
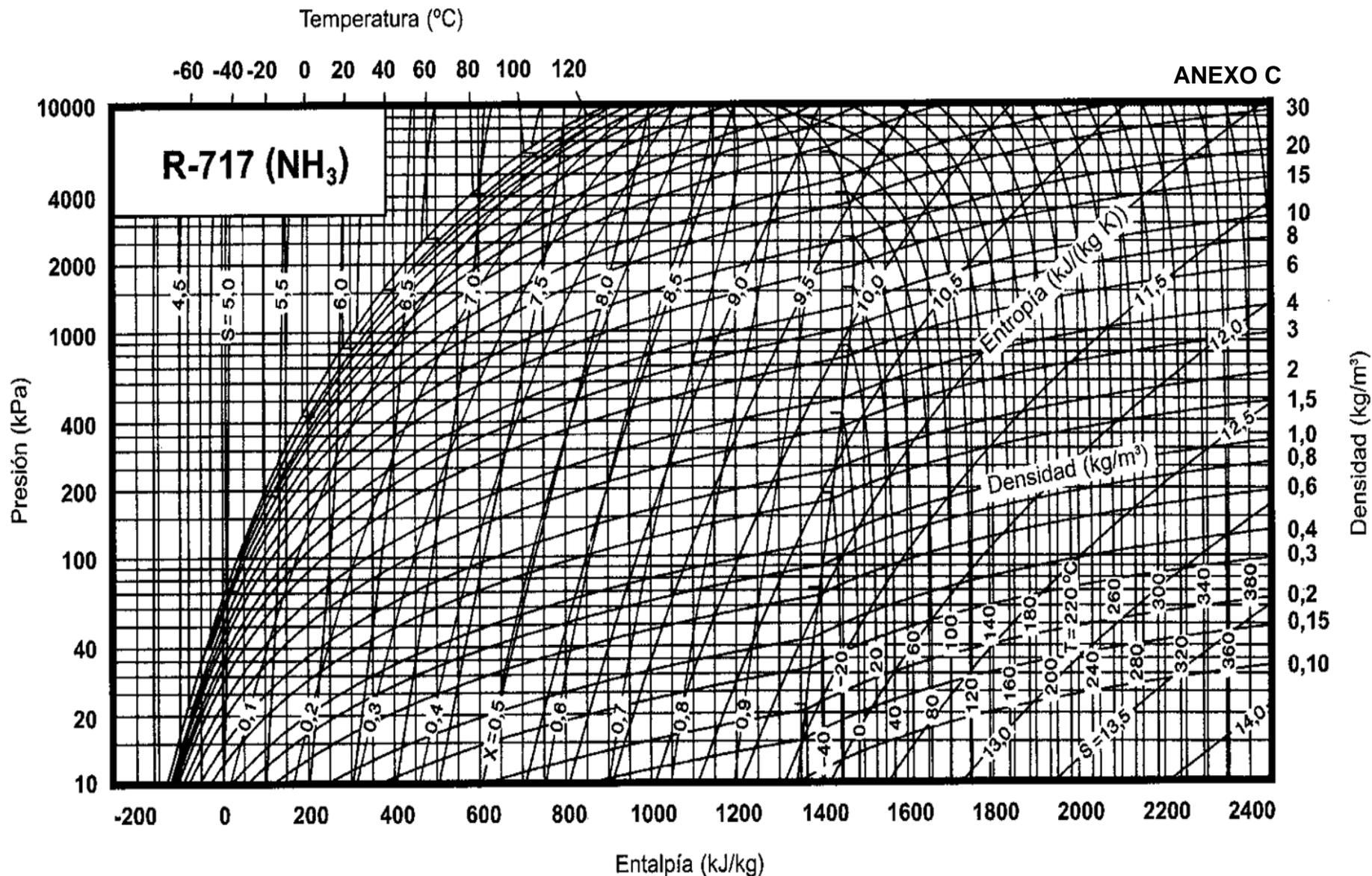


Figura C-4. Diagrama p-h del refrigerante R-404A.

Fuente: Nueva enciclopedia de la climatización. Refrigeración (Ramírez, 2000).



Entalpía (kJ/kg)  
**Figura C-5.** Diagrama p-h del refrigerante R-407C.  
**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).



**Figura C-6.** Diagrama p-h del refrigerante R-717 (NH<sub>3</sub>).  
**Fuente:** Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración (Ramírez, 2000).



