



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
ESCUELA SUPERIOR DE APAN**

**TESIS  
PROPUESTA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN  
ENERGÉTICA DE UN CONTENEDOR PARA  
TRANSPORTAR CÁRNICOS POR MEDIO DEL  
TREN MAYA**

**Para obtener el título de  
Licenciada en Ingeniería en Tecnología del Frío**

**PRESENTA**

**Karen Canseco Sandoval**

**Director (a)**

**Dr. Julio Valle Hernández**

**Comité tutorial**

**Dr. Raúl Román Aguilar**

**Dr. José Esteban Aparicio Burgos**

**Mtro. Víctor Castillo Jiménez**

**Mtra. Wendy Montserrath Delgadillo Ávila**

**Apan, Hidalgo., marzo, 2023**



28 de noviembre del 2022, Apan, Hidalgo, México.

**Autorización de impresión de Tesis**

**Karen Canseco Sandoval**

**No. de cuenta: 390585**

Egresado de la Licenciatura en Ingeniería en Tecnología del Frío

**Presente**

Primeramente, permítame saludarle e informarle que de acuerdo a: **La ley orgánica de la Universidad** en su Título primero: Capítulo II artículo 3 y fracciones I, II, III; del Estatuto General Título primero: Capítulo I artículo 2 fracciones II, XIV; Capítulo II artículo 4; Capítulo III artículo 9. Título quinto: Capítulo II artículo 114 fracción IX; Capítulo V artículo 137 fracción V; además del **Reglamento de Titulación** en su Título cuarto y Capítulo I artículo 36, artículo 37, artículo 38, artículo 39, artículo 40 y artículo 41, los abajo firmantes, integrantes del jurado para el examen recepcional del trabajo titulado:

**Propuesta de Diseño y Evaluación Energética de un Contenedor para Transportar Cárnicos por Medio del Tren Maya.**

Realizado por el estudiante: Karen Canseco Sandoval

Una vez revisado el trabajo y atendidas las recomendaciones por el sustentante, tiene a bien emitir su voto favorable para la impresión de la tesis.

Nombramiento	Nombre	Firma
Presidente.	Dr. Raúl Román Aguilar	
Secretario.	Dr. José Esteban Aparicio Burgos	
Primer Vocal.	Dr. Julio Valle Hernández	
Segundo Vocal.	Mtro. Víctor Castillo Jiménez	
Tercer Vocal.	Mtra. Wendy Montserrath Delgadillo Avila	

**Dr. Valle Hernández Julio**  
Coordinador de Licenciatura en Ingeniería  
en Tecnología del Frío



**Ing. Rosales Gayosso Minerva**  
Directora de la Escuela Superior de Apan.



Carretera Apan-Caupulalpan Km. 8,  
Colonia Chimalpa Tlalayote, Apan, Hidalgo; C.P. 43900  
Teléfono: +52 (771) 71 72000 ext. 5800, 5801  
esap@uaeh.edu.mx

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a mi director de Tesis el Dr. Julio Valle Hernández, por siempre creer en mí para realizar este proyecto, por todo su apoyo brindado no solo para la realización de este trabajo de investigación, sino también por el apoyo que me brinda a lo largo de mi formación académica, además por transmitirme un poco de sus conocimientos, sin su dedicación la culminación de este trabajo no hubiese sido posible.*

*A mis padres María Rubí Sandoval López y Cesar Canseco Huerta por apoyarme en mis decisiones e impulsarme a ser cada día una mejor persona, por su cariño y sobre todo la confianza que han depositado en mí para cumplir cada una de mis metas, a mi hermana Ángeles por creer en mí y apoyarme en todo momento.*

*A mis profesores de la licenciatura, a quienes les debo parte de mis conocimientos, gracias por sus enseñanzas y su dedicación.*

*A mis familias Canseco y Sandoval que han estado presentes en mi vida, quienes me han enseñado a creer en mí y a superarme cada día para lograr las metas que me proponga.*

*Expreso mi agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por formarme como profesionalista*

## ÍNDICE GENERAL

Índice general.	I
Índice de figuras.	VI
Índice de tablas.	VIII
<b>Introducción.</b>	1
<b>Justificación.</b>	3
<b>Hipótesis.</b>	3
<b>Objetivo.</b>	3
<b>CAPÍTULO 1.</b>	
<b>Contextualización del proyecto.</b>	
1.1 Antecedentes.	4
1.2 Tren Maya.	4
1.2.1 Rutas del tren maya.	5
1.2.2 Estaciones del tren maya.	5
1.2.3 Condiciones climáticas de las rutas del Tren Maya.	5
1.2.4 Carga del Tren Maya.	7
1.3 Productos de la región del sureste de México.	8
1.4 Definición de alimento perecedero.	8
1.5 Alimentos perecederos que más se producen en el sureste México.	8
1.6 Especificaciones de los alimentos perecederos producidos en el sureste de México.	8
1.6.1 Pescados.	9
1.6.2 Cárnicos.	9

---

**CAPÍTULO 2.**

**Sistema de Refrigeración: Marco Teórico.**

2.1 Definición de sistema de refrigeración de refrigeración.	11
2.2 Tipos de sistemas de refrigeración por compresión.	11
2.2.1 Sistema convencional de refrigeración.	11
2.2.2 Sistema de refrigeración en cascada.	12
2.2.3 sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas.	13
2.3 Fluido refrigerante.	14
2.4 Clasificación de los refrigerantes.	14
2.4.1 Halocarbonados.	14
2.4.2 Refrigerantes inorgánicos.	15
2.4.3 Refrigerantes orgánicos.	16
2.5 Refrigerantes más utilizados para contenedores.	16
2.5.1 R-134a.	16
2.5.2 R-152a.	17
2.6 Definición de cámara frigorífica.	17
2.6.1 Función de cámara de refrigeración.	18
2.7 Aislantes.	18
2.7.1 Poliestireno.	19
2.7.2 Poliuretano.	19
2.7.3 Fibra mineral.	19
2.7.4 Espuma de Poliuretano.	20
2.8 Condiciones de diseño del contenedor frigorífico.	20
2.9 Energía solar.	21
2.10 Sistema Fotovoltaico.	21
2.10.1 Paneles fotovoltaicos.	22
2.10.2 Baterías.	22
2.10.3 Regulador de carga.	22

---

2.10.4 Inversor.	22
------------------	----

### **CAPÍTULO 3.**

#### **Conservación de Alimentos de Origen Animal.**

3.1 Alimentos perecederos.	24
3.2 Alimentos de origen animal.	25
3.3 Carnes rojas.	25
3.3.1 Propiedades organolépticas de las carnes rojas.	26
3.3.2 Propiedades químicas.	27
3.3.3 Temperatura de conservación.	28
3.3.4 Proliferación de microorganismos.	28
3.3.5 Condiciones inocuas de la carne.	29
3.4 Peces y mariscos.	30
3.4.1 Propiedades organolépticas.	31
3.4.2 Propiedades químicas.	32
3.4.3 Temperaturas de conservación.	33
3.4.4 Proliferación de microorganismos.	34
3.4.5 Condiciones inocuas de almacenamiento.	34
3.5 Carne de ave.	34
3.5.1 Propiedades organolépticas.	35
3.5.2 Propiedades químicas.	35
3.5.3 Temperatura de conservación.	36
3.5.4 Proliferación de microorganismos.	36
3.5.5 Condiciones inocuas de la carne de ave.	37

### **CAPÍTULO 4.**

#### **Diseño de la Cámara Frigorífica para Contenedores de Tren.**

4.1 Condiciones de diseño de cámara frigorífica.	38
--------------------------------------------------	----

---

4.2 Temperaturas de operación.	38
4.3 Sistema de refrigeración.	38
4.4 Tipo de refrigerante.	39
4.5 Tipo de aislante.	40
4.6 Dimensiones del vagón.	41
4.7 Cargas térmicas y tipos.	41
4.7.1 Balance térmico.	41
4.7.1.1 Carga térmica generada por producto.	42
4.7.1.2 Carga térmica generada a través de las paredes.	43
4.7.1.3 Carga térmica generada por el alumbrado.	44
4.7.1.4 Carga térmica generada por el equipo.	44
4.7.1.5 Carga térmica generada por infiltración.	44
4.7.1.6 Carga térmica generada por los ocupantes.	47
4.8 Energía suministrada por los paneles en un día	48
4.9 Energía eléctrica requerida.	48
4.9.1 Panel solar seleccionado.	49
4.10 Irradiación solar.	40
4.11 Características de las baterías propuestas.	51
4.11.1 Dimensionamiento del número de baterías	51
4.12 Selección del inversor propuesto.	52
4.12.1 Dimensionamiento del inversor	52

## **CAPÍTULO 5.**

### **Implementación del Contenedor Refrigerado.**

5.1 Calculo de cargas térmicas.	54
5.2 Materiales de construcción	55
5.2.1 Diseño de la estructura de los muros.	55
5.3 Gráficas de Temperatura a lo largo de la ruta del tren Maya.	56

5.4 Cargas térmicas.	58
5.5 Medidas y peso que llevará el contenedor para cada alimento.	61
5.6 Cargas térmicas totales.	62
5.7 Estados termodinámicos.	67
5.7.1 Cálculos del ciclo de refrigeración.	67
5.8 Evaluación energética.	68
5.8.1 Cálculo de la energía suministrada por los paneles.	68
5.8.2 Comparativa de la energía requerida y la suministrada.	68
5.8.3 Baterías requeridas	70
5.9 Dibujo en CAD	71
Conclusiones	74
Anexo 1	75
Anexo 2	85
Referencias.	



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 En esta imagen se muestra la ruta del tren Maya que va de Valladolid, Yucatán a Tulum Quintana Roo.	5
Figura 2.1 Sistema de refrigeración simple.	11
Figura 2.2 Sistema de refrigeración en cascada.	12
Figura 2.3 Sistema de refrigeración de múltiples etapas.	13
Figura 2.4 Materiales aislantes.	18
Figura 2.5 Espuma de poliuretano.	20
Figura 2.6: Esquema general de un sistema fotovoltaico.	21
Figura 2.7: Sistema Fotovoltaico Autónomo.	23
Figura 2.8: Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.	23
Figura 3.1 Aspecto normal de la carne roja.	25
Figura 3.2 Aspecto normal de la carne de peces y mariscos.	31
Figura 3.3 Aspecto normal de la carne de ave.	35
Figura 4.1 Sistema de refrigeración de compresión simple.	39
Figura 4.2 Espuma de poliuretano.	40
Figura 4.3 Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el estado de Tabasco.	50
Figura 4.4 Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Campeche.	50
Figura 4.5 Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Chiapas.	50
Figura 4.6 Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Yucatán.	51
Figura 4.7 Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Q. Roo.	52
Figura 5.1 Diseño del contenedor.	54
Figura 5.2 Diseño del contenedor y estructura de las Áreas.	54
Figura 5.3 Diseño de los muros	55
Figura 5.4 Diseño del piso	56
Figura 5.5 Temperatura a lo largo del año Tabasco.	57
Figura 5.6 Temperatura a lo largo del año Campeche.	57
Figura 5.7 Temperatura a lo largo del año Chiapas.	57

---

Figura 5.8 Temperatura y velocidad del viento en Yucatán.	58
Figura 5.9 Temperatura y velocidad del viento de Quintana Roo.	58
Figura 5.10 Caja con rejillas para pollos.	61
Figura 5.11 Cargas térmicas para la carne de ave.	63
Figura 5.12 Cargas térmicas para la carne de cerdo.	64
Figura 5.13 Cargas térmicas para la carne de bovino.	65
Figura 5.14 Cargas térmicas para la carne de pescado.	66
Figura 5.15 Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Cerdo.	69
Figura 5.16 Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Bovino.	70
Figura 5.17 Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Ave.	70
Figura 5.18 Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Pescado.	71
Figura 5.19 Cara Frontal del Contenedor	72
Figura 5.20 Vista lateral	72
Figura 5.21 Techo del contenedor	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades termodinámicas de los pescados.	9
Tabla 1.2 Propiedades termodinámicas de los productos.	10
Tabla 1.3 Propiedades termodinámicas de los productos lácteos.	10
Tabla 2.1: Propiedades físicas del refrigerante 134a.	16
Tabla 2.2: Propiedades físicas del refrigerante R-152a.	17
Tabla 3.1 Alimentos perecederos.	24
Tabla 3.2: Composición química de las carnes rojas en 100 gr.	27
Tabla 3.3 Composición química de las vísceras en 100 gr.	27
Tabla 3.4 Composición química de los diferentes cortes.	27
Tabla 3.5 Composición química de las diferentes especies de pescado en 100 g.	33
Tabla 3.6 Composición química de las diferentes especies de mariscos en 100 g.	33
Tabla 3.7 Tiempo de conservación de los pescados.	33
Tabla 3.8 Propiedades químicas de la carne de pollo en 100g.	36
Tabla 3.9 tiempo de conservación del pollo.	36
Tabla 4.1 Propiedades físicas del refrigerante R-152a.	39
Tabla 4.2 Dimensiones del contenedor.	41
Tabla 4.3 Cambios de aire cada 24 horas en cuartos fríos por apertura de las puertas e infiltraciones.	46
Tabla 4.4 Cantidad de calor desprendido por persona.	47
Tabla 4.5 Características del Panel Solar.	49
Tabla 4.6 Características de la batería seleccionada	51
Tabla 4.7 Características del inversor.	52
Tabla 5.1 Dimensiones del contenedor.	54
Tabla 5.2 Materiales, espesores y conductividad térmica.	55
Tabla 5.3 Dimensiones de la caja.	61
Tabla 5.4 Dimensiones y peso del cerdo.	62
Tabla 5.5 Dimensiones y peso de la res.	62

Tabla 5.6 Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de ave.	63
Tabla 5.7 Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de cerdo.	64
Tabla 5.8 Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de bovino.	65
Tabla 5.9 Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de pescado.	66
Tabla 5.10 Estados termodinámicos.	67
Tabla 5.11 Resultados del ciclo de refrigeración.	68
Tabla 5.12 Horas de abastecimiento del sistema fotovoltaico al sistema de refrigeración.	69
Tabla 5.13 Baterías requeridas para el almacenamiento de energía generada por el arreglo fotovoltaico.	71

---

## INTRODUCCIÓN

El Tren Maya es un proyecto que pretende impulsar el crecimiento de la economía en el sureste mexicano, se cree que con este se implementará una forma de turismo y una de transporte para carga, misma que se pretende que sea de productos elaborados en esa región.

En el sureste de México se producen distintos tipos de productos y algunos de ellos son perecederos tales como distintos tipos de cárnicos los cuales son: carne de bovino, carne de porcino, carne de ave y pescados. Una de las actividades comerciales que permiten el crecimiento de la economía es el transporte de cárnicos debido a su alto consumo en México, sin embargo, estos productos requieren de condiciones óptimas durante su almacenamiento y transporte que garanticen la calidad e inocuidad de los mismos.

El pescado requiere condiciones específicas durante su almacenamiento y transporte que permitan mantener sus características organolépticas las cuales es importante conservar la inadecuada manipulación durante ese proceso permite el deterioro de las características organolépticas y microbiológicas de los distintos tipos de cárnicos, mismas que le brindan al producto un buen aspecto y sabor, por ello es importante considerarlas para la congelación o refrigeración.

La carne de ave tiene un bajo contenido de ácidos saturados y altos valores de ácidos monosaturados, es rico en vitaminas, minerales y proteínas, la carne roja aporta muchas vitaminas al cuerpo humano, la calidad de la carne depende en gran medida de las características organolépticas.

Las características principales de conservación de la carne roja son: la humedad relativa se encuentra en rango de 85 a 95%, la temperatura óptima de refrigeración es de -1 a 1.1°C, las características de la carne de ave son: la humedad relativa de 85 a 90% y la temperatura óptima de refrigeración es de 0 a 2°C, las características del pescado son: de la mojarra, el robalo y la tilapia la humedad relativa es de 90 a 95% y la temperatura de refrigeración oscila entre -5 a 0.5°C, para el camarón y el pulpo la humedad relativa varía de 85 a 95% y la temperatura óptima de -1 a 1°C.

Este proyecto constituye la metodología y el cálculo del diseño de una cámara de refrigeración que se basa en los principios básicos termodinámicos y de refrigeración, el objetivo de este trabajo es diseñar un contenedor refrigerado que garantice la calidad e inocuidad de los cárnicos, alimentado a partir de energía solar fotovoltaica.

El proyecto se estructuró para proponer el diseño de un contenedor refrigerado que permita satisfacer las necesidades de transporte de cárnicos en el tren maya, para ello se propuso de la siguiente manera:

Capítulo 1: En el primer capítulo se realiza la contextualización del proyecto contemplando las condiciones climatológicas de la ruta propuesta por el tren maya, así como las propiedades termodinámicas de los productos perecederos producidos en el sureste de México.

---

Capítulo 2: Para este capítulo se realiza el análisis del marco teórico, abordando los diferentes tipos de sistemas de refrigeración, la clasificación de los refrigerantes, los tipos de aislantes y el funcionamiento de un contenedor frigorífico.

Capítulo 3: En este capítulo se detallan las propiedades organolépticas, de los tipos de carnes que se van a transportar.

Capítulo 4: Este capítulo se enfoca en el diseño de la cámara de refrigeración, seleccionando el sistema, el aislante, las temperaturas de operación y se explican las cargas térmicas que se van a calcular.

Capítulo 5: En él se lleva a cabo el procedimiento de los cálculos para que sea una cámara viable para el tren Maya.

---

## **JUSTIFICACIÓN**

La elaboración de este proyecto consiste en la propuesta del diseño de un contenedor refrigerado para el Tren Maya, el cual permita transportar y mantener las características fisicoquímicas y microbiológicas de los cuatro tipos de cárnicos que son producidos en el Sureste de México. Considerando las condiciones climáticas de la ruta propuesta por el Tren Maya que contempla los estados de Tabasco, Quintana Roo, Chiapas, Yucatán y Campeche, tomando en cuenta la temperatura de preenfriamiento de los cuatro tipos de cárnicos. Se seleccionan los materiales de construcción, se considera un ciclo simple de compresión a vapor proponiendo R-152a, y abastecido con energía solar fotovoltaica, como resultados se obtiene el cálculo de las cargas térmicas, la potencia del compresor y la comparación de la energía requerida con la energía suministrada por el arreglo fotovoltaico.

## **HIPÓTESIS**

El arreglo fotovoltaico puede generar el 50% de energía requerida en sistema en la refrigeración a lo largo de la ruta propuesta por el Tren Maya. Para la conservación de cárnicos y mariscos producidos en el sureste de México.

## **OBJETIVO**

Diseñar un contenedor frigorífico para la ruta propuesta por el Tren Maya que satisfaga su consumo de energía a partir de un arreglo fotovoltaico, proponiendo la estructura del mismo y realizando los cálculos adecuados, con la finalidad de contribuir al cuidado el medio ambiente y disminuir los gases de efecto invernadero generados por el uso de combustible.

## CAPÍTULO 1.

# CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

### 1.1 Antecedentes

La cadena de frío es un factor importante que se debe considerar para la conservación de alimentos perecederos, para que se pueda garantizar al consumidor la obtención de un producto en condiciones óptimas, la cadena de frío requiere un transporte adecuado con cámara de enfriamiento que mantengan la calidad y características organolépticas de los alimentos [10].

El pionero en el desarrollo de sistemas de transporte frigoríficos es el empresario Gustavus Franklin Swift quien desarrolló un sistema de enfriamiento para carros de ferrocarril mismos que se destinaron para transportar carne, e hicieron posible su transporte, al principio se utilizó hielo fabricado, posteriormente se implementó el hielo seco, para 1939 se desarrolló un remolque de tractor refrigerado, dos años más tarde durante la segunda guerra mundial las fuerzas armadas buscaron un nuevo dispositivo refrigerado que actualmente es conocido como Termo King, que no solo fue utilizado para transportar alimentos, sino también medicamentos y sangre [10].

Actualmente el camión refrigerado es parte fundamental de la red logística en la cadena de suministro de frío, donde el objetivo principal es mantener una temperatura adecuada, para garantizar la calidad e inocuidad de estos, es importante mantener en todo momento la temperatura óptima para evitar la proliferación de microorganismos.

### 1.2 Tren Maya

El proyecto del tren Maya es uno de los proyectos de infraestructura del gobierno federal, el tren Maya implica la implementación de un nuevo tipo de turismo que no solo busca preservar los ecosistemas, sitios turísticos y culturas locales en la medida de lo posible, sino también generará un contexto que propicie el reconocimiento y respeto de los pueblos originarios y la ecología de la región; además de integrar a la población en la dinámica de crecimiento económico [7].

Este proyecto está orientado a incrementar la derrama económica del turismo en la Península de Yucatán, crear empleos, impulsar el desarrollo sostenible, proteger el medio ambiente de la zona y propiciar el ordenamiento territorial de la región [7].

El 70% del transporte del Tren Maya está destinado a carga, el 30% restante está destinado al transporte de pasajeros y turismo [7].



### 1.2.1 Rutas del tren Maya

Como punto de partida la ruta del tren incluye Palenque, Chiapas, y Cancún, en Quintana Roo, con dos rutas que abarcan mil quinientos kilómetros a través de las costas este y oeste de la Península de Yucatán [7].

Además de las ruinas mayas de Chichén Itzá (Yucatán), Calakmul (Campeche) y Tulum (Quintana Roo), el tren pasará por los puntos turísticos como Campeche, Mérida, Izamal y Valladolid. En la figura 1.1 se muestra la ruta del tren maya.



*Figura 1.1 Ruta propuesta por el Tren Maya (Valencia, 2022).*

### 1.2.2 Estaciones del tren Maya

En el proyecto del tren maya se tienen 17 estaciones, en ellas se encuentran los siguientes lugares [7]:

- Palenque en Chiapas.
- Tenosique en Tabasco.
- Calakmul, Escárcega, Xpujil y Campeche en Campeche.
- Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Tulum, Felipe Carrillo Puerto y Bacalar en Quintana Roo.
- Maxcanú, Mérida, Izamal, Chichén Itzá y Valladolid.

### 1.2.3 Condiciones climáticas de las rutas del tren Maya

El sureste de México se caracteriza por tener climas cálidos que son de tres tipos: subhúmedos, húmedos y semisecos, esto debido a las lluvias, precipitaciones que regularmente son constantes durante la época de verano.

### a) Tabasco

Durante el transcurso del año la temperatura en tabasco varía de 6° a 32°C y algunas veces sube a más de 35°C, los veranos son cálidos y los inviernos son fríos, secos y parcialmente nublado durante el año, la temporada calurosa dura aproximadamente 2 meses de abril a junio la temperatura máxima promedio es de más de 31°C mientras que la temporada fresca dura de 2 a 4 meses de noviembre a febrero aproximadamente, la temperatura menor que se tiene son 25°C [2].

- Precipitación.

La temporada de lluvia dura de 3 a 5 meses, mientras que la temporada seca es de 8 a 5 meses [2].

- Humedad.

La humedad se basa en el punto de rocío, cuando los puntos de rocío se encuentran más bajos está más seco y se encuentran altos se siente más húmedo [2].

### b) Campeche

La temperatura en Campeche normalmente varía entre 18°C a 34°C, la temporada calurosa dura de 3 a 4 meses la temperatura máxima que alcanza es arriba de 33°C, mientras que la temporada fresca dura de 2 a 6 meses la temperatura máxima es menor a 29°C [4].

- Precipitación.

En Campeche la temporada de lluvia dura de 8 a 4 meses, de mayo a octubre donde normalmente todo el día es lluvioso y en algunos momentos con nieve o las dos, mientras que los días mojados duran de 7 a 2 meses de octubre a mayo [4].

- Humedad.

La humedad en el punto de rocío son más bajos cuando está más seco y altos cuando están más húmedos, en Campeche la humedad varía considerablemente, el tiempo más húmedo aquí es de 9 a 1 mes con un clima calido, los menos húmedos son en septiembre [4].

### c) Chiapas

Chiapas tiene un clima tropical, húmedo y subhúmedo, la temperatura varía entre 20 y 19°C, más de la mitad de su territorio presenta clima cálido y el restante clima templado húmedo [5].

- Precipitación.

La temporada seca dura 7 meses de octubre a mayo, la temporada de lluvia dura 5 meses de mayo a octubre, aunque la probabilidad de que llueva es del 10%, las precipitaciones en la temporada de lluvia son más altas y en la temporada seca cesan [5].

- Humedad.

La temperatura varía considerablemente por las noches, en el día el punto de rocío cambia más lento que por las noches, aunque en Chiapas la humedad varía muy notoriamente, los días más húmedo del año son en septiembre [5].

### d) Yucatán

En Yucatán el verano es muy corto, y son nublados, el invierno bochornoso y caliente, la temperatura oscila entre 18 y 36 °C [3].

- Precipitación.

La temporada más larga es la temporada de lluvia dura 7 meses y la seca dura 5 meses, el mes más lluvioso es septiembre [3].

- Humedad.

Yucatán tiene una humedad relativa de 61%, el punto de rocío varía más por las noches el mes más húmedo es en enero es bochornos. El periodo más húmedo del año dura 8 meses de marzo a noviembre [3].

### e) Quintana Roo

La temporada de lluvia es fría, la seca es humedad y despejada, pero es demasiado caliente durante todo el año, la temperatura normalmente es de 18 a 35 °C, aunque en algunas ocasiones baja hasta 15°C o sube hasta 40 °C [1].

- Precipitación.

Tiene una precipitación alta, la temporada de lluvia dura entre 4 y 9 meses, mientras que la temporada seca dura 7 meses [1].

- Humedad.

Cuando el punto de rocío es más bajo se siente más seco y cuando son más altos son más húmedos, el punto de rocío cambia más lentamente que la temperatura, así que si la temperatura baja en un día húmedo, normalmente la noche es húmeda [1].

### 1.2.4 Carga del Tren Maya

La economía de la carga del tren Maya se divide en dos partes 70 por ciento los productos que transportará y el 30 por ciento restante será el transporte de pasajeros en la siguiente lista se observa la carga del tren Maya:

- Alimentos perecederos.
- Combustibles.
- Productos de la industria de la construcción.
- Pasajeros.

En este proyecto se analizará el transporte específicamente de alimentos perecederos ya que estos son consumidos en toda la república mexicana.

### 1.3 Productos de la región del sureste de México

El sureste de México está constituido por cinco estados diferentes: Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Campeche [6].

En Tabasco la principal producción de alimentos es en: maíz, frijol, cacao, miel, carne de bovino, carne de res, leche, también Tabasco se convirtió en uno de los principales estados exportadores de pescado como: la mojarra, el ostión, el camarón, el juez o el robalo [6].

Yucatán y península de Yucatán es uno de los estados más exportadores al extranjero, exportando los productos producidos ahí como son: miel, carne de bovino, carne de cerdo, carne de ave, algunos pescados como: pulpo, langosta, tilapia y algunos productos de siembra: mamey, aguacate, pitahaya, papaya, chile habanero y algunos cítricos [6].

Chiapas es uno de los estados que produce alimentos orgánicos, entre ellos produce y exporta: café, miel, tomate, papaya, carne de ave, leche y algunos derivados lácteos, siendo uno de los países con menos producción comparado con los demás.

Quintana Roo es productor de miel, pero también es exportador de otros productos los cuales son: maíz, frijol, chile, sandía, sorgo, jitomate, caña de azúcar, papaya, plátano, piña, limón, pitahaya, aguacate, sábila, nopal y algunos tipos de cárnicos [6].

### 1.4 Definición de alimento perecedero

Los alimentos perecederos son aquellos que inician su descomposición de manera rápida, debido a sus características químicas, físicas y biológicas, por lo tanto, exigen condiciones estrictas en tanto a su conservación, almacenamiento y transporte, considerando factores como: temperatura, presión y humedad óptimos dependiendo de cada producto [8].

### 1.5 Alimentos perecederos que más se producen en el Sureste México

Los alimentos perecederos producidos y transportados en el sureste de México son:

#### *Pescados y mariscos*

#### *Carnes.*

- Carne Avícola.
- Bovino.
- Cerdo.

#### *Otros.*

- Leche.
- Productos lácteos.

### 1.6 Especificaciones de los alimentos perecederos producidos en el sureste de México

### 1.6.1 Pescados

El pescado es muy exigente en cuanto a la conservación durante su almacenamiento, en este proceso se presenta el deterioro de las características organolépticas del pescado, estas características se deben tomar en cuenta durante el proceso de congelación o refrigeración, pero no solo es exigente en el almacenamiento sino también durante el transporte, por ello surge la necesidad de realizar un contenedor que pueda mantener la inocuidad y características organolépticas como:

- Sabor.
- Olor.
- Color.
- Textura.

Las características a considerar para identificar pescado fresco son:

- *Agallas*: Deben tener color rojo vivo, suaves y resbaladizas al tacto.
- *Ojos*: Esféricos, transparentes, salientes y de córnea limpia.
- *Ventre*: Los intestinos están totalmente definidos, limpios y sin golpes.
- *Piel*: Tiene que ser resbaladiza, suave, brillante, se debe separar de la carne con dificultad, abundantes escamas difíciles de retirar.
- *Carne*: Su color tiene diferentes características según la especie.
- *Olor*: A mar, agua limpia, humedad, no debe tener un olor desagradable.

El pescado es rico en proteínas, lípidos, minerales y vitaminas, por ello conservarlos es muy importante, una mala manipulación de la temperatura y humedad permite la proliferación de microorganismos como bacterias (*Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Pedicoccus*) [8]. En la tabla 1.1 se muestran las propiedades termodinámicas de los pescados.

**Tabla 1.1** Propiedades termodinámicas de los pescados.

Especie	Temperatura. (°C)	Humedad relativa(%)	Tiempo de conservación	C.P antes del punto de congelación (Kcal/kg°C)	C.P después del punto de congelación (Kcal/kg°C)
Pescado (Mojarra, robalo, tilapia)	-0.5 a 0.5	90/95	5/15 días	0.82	0.41
Camarón (ostión)	-1 a 1	95/100	12/14 días	0.81	0.43
Pulpo	0 a 1	85/90	3/10 días	0-82	0.43
Langosta	6 a 8	En agua	indefinido	0.84	0.44

### 1.6.2 Cárnicos

La carne blanca como el pollo cuando es fresco presenta ligeramente un color amarillo claro, con pequeñas escamas y la piel debe ser tersa, sin textura pegajosa.

## Capítulo 1. Contextualización del proyecto

La grasa del ave provee bajo contenido de ácidos saturados y altos valores de ácidos monosaturados, es rica en vitaminas, minerales y proteínas tiene la característica de ser un alimento perecedero por ello exige condiciones óptimas durante su almacenamiento y transporte evitando así la proliferación de microorganismo que pueden causar daño a la salud del consumidor.

La carne roja aporta muchas vitaminas al cuerpo humano, el consumo excesivo de ella podría provocar daños a la salud, la calidad de la carne depende el buen manejo y cuidado de la misma, es importante mantener sus características organolépticas:

- *Olor*: Difiere según la especie pollo, bovino o cerdo.
- *Sabor y aroma*: Presenta un sabor y olor agradable que produce una sensación extraordinaria al consumidor.

En la tabla 1.2 se muestran las propiedades termodinámicas de distintos tipos de cárnicos.

*Tabla 1.2 Propiedades termodinámicas de los productos.*

Especie	Temperatura. (°C)	Humedad relativa(%)	Tiempo de conservación	C.P antes del punto de congelación (Kcal/kg°C)	C.P después del punto de congelación (Kcal/kg°C)
Carne de pollo	2 a 0	95/100	1/4 semanas	0.72	0.4
Carne de cerdo	0 a 1.1	85/90	3/10 días	0.65	0.36
Carne de bovino	-1 a 0.5	90/95	1/2 semanas	0.72	0.39

- *Otros*

La leche es un producto blanco con doble viscosidad que el agua el color de la leche es amarillo ligeramente, el sabor es delicado, suave y ligeramente azucarado, su olor tampoco es muy intenso y muy característico, los productos lácteos derivados de la leche necesitan temperaturas bajas para conservarse en buenas condiciones y evitar la proliferación de microorganismos, (ver tabla 1.3).

*Tabla 1.3 Propiedades termodinámicas de los productos lácteos.*

Especie	Temperatura. (°C)	Humedad relativa(%)	Tiempo de conservación	C.P antes del punto de congelación (Kcal/kg°C)	C.P después del punto de congelación (Kcal/kg°C)
Leche	2 a 4	85/90	1/3 días	0.93	0.43
Queso fresco	0 a 2	85/90	3/10 días	0.65	0.36
Mantequilla	0 a 1.5	80/85	4/6 semanas	0.33	0.25

## CAPÍTULO 2.

### SISTEMA DE REFRIGERACIÓN: MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Definición de sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración se basan en los principios termodinámicos y están diseñados para promover el intercambio de calor entre el proceso y el refrigerante, facilitando la liberación de calor que no se puede recuperar al medio ambiente, dicho de otro modo, están diseñados para disminuir la temperatura del producto almacenado en cámaras de refrigeración, las cuales pueden tener una diversidad de alimentos o compuestos químicos [9].

En los sistemas abiertos, el refrigerante se encuentra en contacto con el ambiente, lo que no ocurre en los sistemas cerrados, donde el refrigerante circula por tubos o serpentines, estos sistemas se utilizan en instalaciones de gran capacidad que cuentan con un suministro suficiente de agua para la refrigeración, cuando no se dispone de un suministro de agua suficiente, se utilizan sistemas con recirculación conocidos como torres de enfriamiento [9].

#### 2.2 Clasificación de sistemas de refrigeración por compresión

La refrigeración por compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación del refrigerante obteniendo zonas de alta y baja presión aprisionadas en intercambiadores de calor, con la finalidad de que el fluido absorba calor del ambiente [11].

##### 2.2.1 Sistema convencional de refrigeración

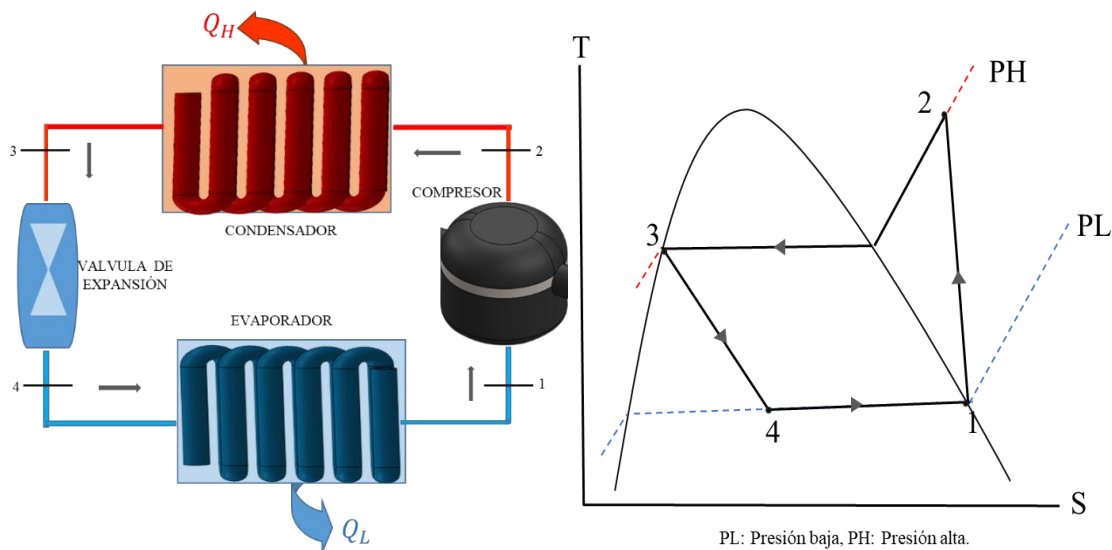


Figura 2.1 Sistema de refrigeración simple (Elaboración propia).

El ciclo de compresión simple a vapor es el más utilizado debido a su simplicidad, se le denomina sistema ideal de refrigeración, el cual consiste en lograr bajas temperaturas que son capaces de absorber cargas térmicas y consta de cuatro fases (ver figura 2.1) [11]

Estados termodinámicos:

- Estado 1 Vapor Saturado.
- Estado 2 Vapor Sobrecalentado.
- Estado 3 Líquido Saturado.
- Estado 4 Mezcla.

### 2.2.2 Sistema de refrigeración en cascada

Un ciclo de refrigeración en cascada consiste en efectuar el proceso de refrigeración por etapas, es decir, dos o más ciclos de refrigeración que operan en serie. En un ciclo de refrigeración de dos etapas ambos ciclos se conectan por medio de un intercambiador de calor en medio, mismo que sirve como evaporador en el ciclo superior y como condensador en el inferior, en este sistema se puede ocupar más de un refrigerante según las etapas que tenga (ver figura 2.2) [11].

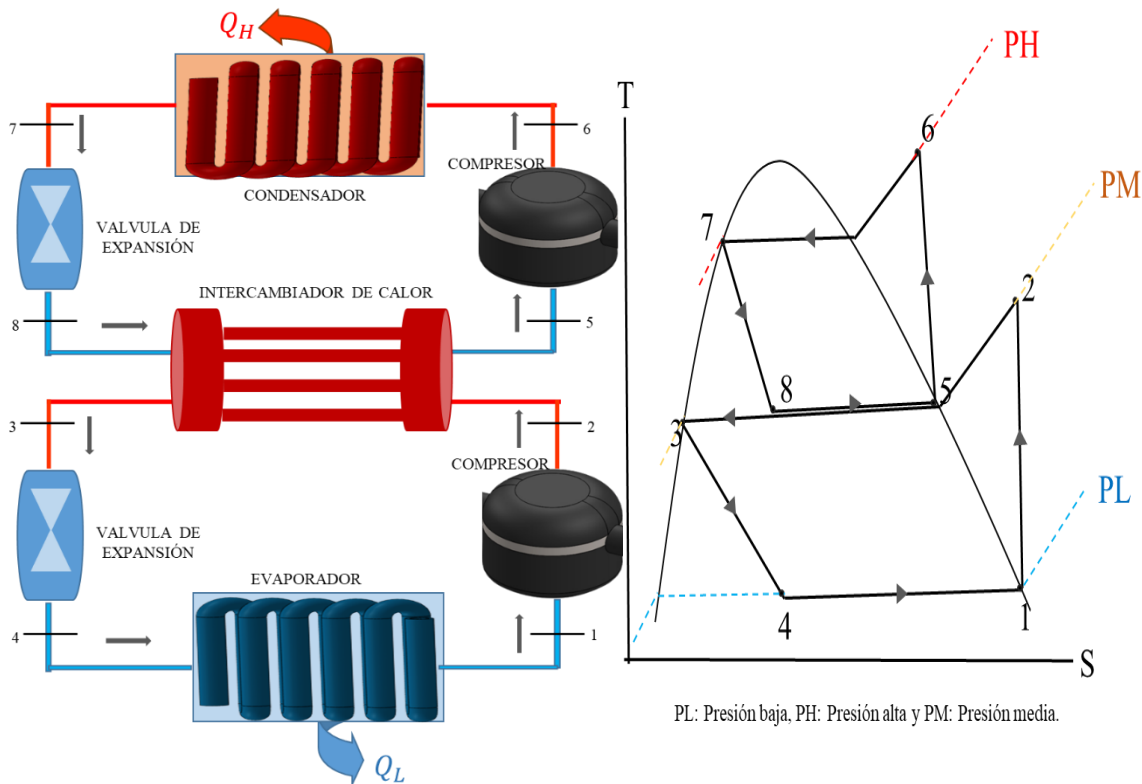


Figura 2.2 Sistema de refrigeración en cascada (Elaboración propia).



Estados termodinámicos del sistema inferior:

- Estado 1 Vapor Saturado.
- Estado 2 Vapor Sobrecalentado.
- Estado 3 Líquido Saturado.
- Estado 4 Mezcla.

Estados termodinámicos del sistema superior:

- Estado 5 Vapor Saturado.
- Estado 6 Vapor Sobrecalentado.
- Estado 7 Líquido Saturado.
- Estado 8 Mezcla.

### 2.2.3 Sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas

Para sistemas de compresión de vapor, donde se quiere reducir el trabajo de entrada del compresor, se realizan modificaciones que consiste en incluir la compresión multietapa con refrigeración intermedia.

En estos ciclos de refrigeración intermedia el sumidero de energía puede ser el mismo refrigerante, ya que, en muchos puntos del ciclo, la temperatura del refrigerante es inferior a la temperatura del ambiente. Por tanto, el intercambiador de calor que funciona como refrigerador intermedio, se convierte en un intercambiador regenerativo, ya que el calor se transfiere de forma interna en el sistema. (Ver figura 2.3) [11].

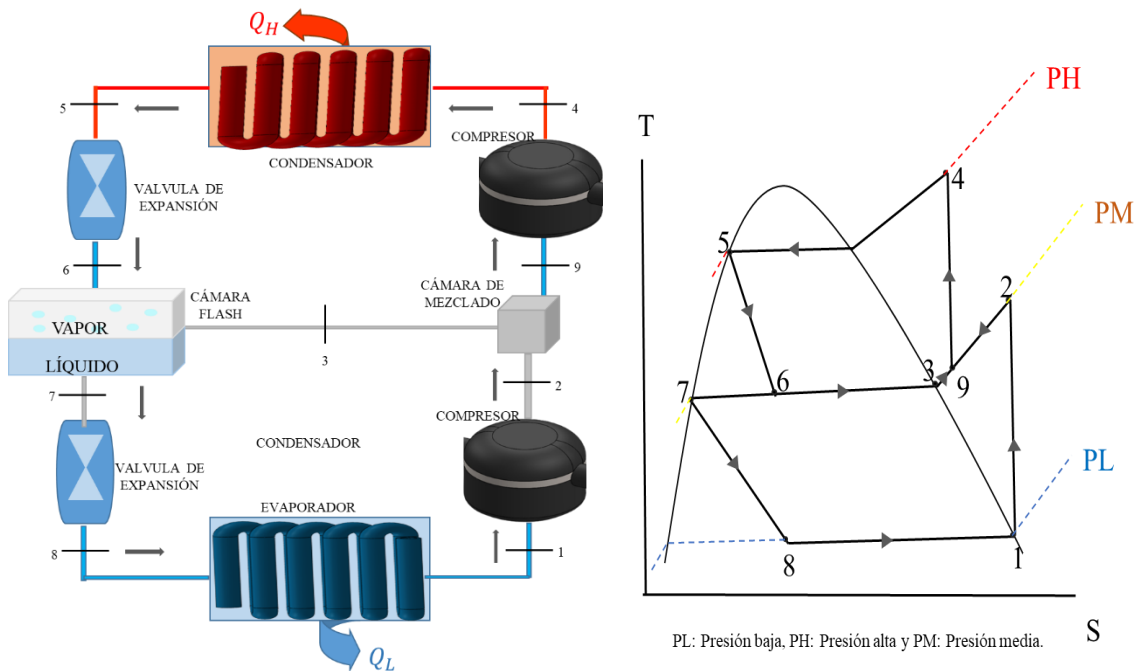


Figura 2.3 Sistema de refrigeración de múltiples etapas (Elaboración propia).

Estados termodinámicos:

- Estado 1 Vapor Saturado.
- Estado 2 Vapor Sobrecalentado.
- Estado 3 Vapor Saturado.
- Estado 4 Vapor Sobrecalentado.
- Estado 5 Líquido Saturado.
- Estado 6 Mezcla.
- Estado 7 Líquido Saturado.
- Estado 8 Mezcla.
- Estado 9 Depende del estado 2 y 3.

### 2.3 Fluido refrigerante

Los fluidos refrigerantes son sustancias capaces de absorber y transportar altas cantidades de calor, el refrigerante en fase líquido absorbe calor de la zona de baja presión logrando un cambio de fase a vapor, el calor que es absorbido se libera en la zona de alta presión, pasando de la fase gaseosa a la líquida.

### 2.4 Clasificación de los refrigerantes

Los refrigerantes se clasifican de acuerdo a los elementos químicos que los forman y son orgánicos e inorgánicos, los orgánicos comúnmente pueden encontrarse en la naturaleza como son algunos hidrocarburos mientras que los refrigerantes inorgánicos o sintéticos contienen cloro o flúor en sus moléculas por lo cual también se conocen como refrigerantes halogenados.

#### 2.4.1 Halocarbonados.

Son compuestos químicos o combinaciones de átomos que constan de una estructura de carbono a la que se unen átomos del grupo VII A de la tabla periódica, conocidos como halógenos, Los refrigerantes halocarbonados se dividen en tres grupos básicos [12]:

- a) **CFC (hidroclorofluorocarbonos):** Son sustancias derivadas de hidrocarburos saturados, contienen átomos de cloro y flúor sustituyendo a los átomos de hidrógeno, utilizados como agentes propulsores en aerosoles y aislantes, tienen aplicación en la refrigeración doméstica y el acondicionamiento de aire en automóviles los cuales son: *R-11, R-113, R-114, R-115, R-12, R-400, R-500, R-502, R-503* [12].
- b) **HCFC (hidrofluorocarbonos):** Son derivados de hidrocarburos contienen átomos de hidrógeno, cloro y flúor, el átomo de hidrogeno les permite oxidarse con mayor rapidez en la parte baja de la atmósfera y afectar menos la capa de ozono, son sustitutos de los CFC, estos refrigerantes son más utilizados en aplicaciones de aire acondicionado, bombas de calor, refrigeración comercial y enfriadores centrífugos (chillers) algunos ejemplos de estos son: *R-123, R-124, R-142b, R-22* [12].

- c) **HFC (hidrofluorocarburos):** Derivados de hidrocarburos, contienen átomos de hidrógeno y flúor, pero no de cloro, son una alternativa para sustituir los CFC debido a que no afectan la capa de ozono, sin embargo, se consideran “gases de efecto invernadero” ocasionando problemas de calentamiento global, estos refrigerantes son: *R-125, R-134a, R-143a, R-152a, R-161, R-227 ea, R-23, R-236ea, R-236fa, R-245fa, R-32* [12].
- d) **Mezclas:** Las mezclas son la unión de dos o más sustancias refrigerantes distribuidas en proporciones variables, las mezclas se pueden emplear para alcanzar propiedades que cumplen con propósitos útiles en refrigeración y surgen como alternativas adicionales para ayudar a acelerar el abandono de las sustancias destructoras de ozono [12].
- **Mezclas Zeotrópicas:** Están formadas por dos o más componentes conocidos como: refrigerantes puros de diferente volatilidad. Cuando las mezclas se evaporan o se condensan en un sistema de refrigeración, su composición y su temperatura de saturación cambian, estos refrigerantes son: *R-401A, R-401B, R-401C, R-402A, R-402B, R-403A, R-403B, R-405A, R-406A, R-408A, R-409A, R-409B, R-411A, R-411B, R-412A, R-414A, R-414B, R-415A, R-415B* [12].
  - **Mezclas Azeotrópicas:** Se les conoce así a las mezclas formadas por dos o más componentes refrigerantes puros que a diferencia de las mezclas zeotrópicas estos tienen una volatilidad similar. Cuando las mezclas se evaporan o se condensan en un sistema de refrigeración, su composición y su temperatura de saturación no cambia. Algunos ejemplos de estos son: *R-404A, R-407A, R-407B, R-407C, R-407E, R-410A, R-413A, R-417A, R-419A, R-421A, R-421B, R-422A, R-421B, R-422C, R-422D, R-423A, R-424A, R-425A, R-426A, R-427A, R-428A, R-429A, R-430A, R-431A, R-434A, R-435A, R-437A, R-507A, R-508A, R-508B* [12].

### 2.4.2 Refrigerantes inorgánicos

Son compuestos químicos o combinaciones de los elementos de la tabla periódica que no contienen carbono, excepto el CO<sub>2</sub> [12]. Los refrigerantes inorgánicos que más comúnmente se conocen son:

- a) **Agua (R-718):** El agua es utilizada en los procesos de refrigeración por absorción acompañada de algunos compuestos como puede ser el bromuro de litio o amoníaco en máquinas de aire acondicionado, el agua es una buena opción como refrigerante debido a su baja toxicidad e inflamabilidad, sin embargo, una de sus ventajas es que esté es un refrigerante que funciona a baja presión.
- b) **Amoníaco (R-717):** Es un refrigerante utilizado industrialmente para la producción de fertilizantes y en productos de limpieza, por sus aleaciones, sus cualidades

termodinámicas. El amoníaco es uno de los mejores refrigerantes debido a que supera grandemente a los demás mostrando un alto coeficiente de transferencia de calor [12].

- c) **Dióxido de Carbono (R-744):** El R-744 tiene varias propiedades convenientes como refrigerante: disponibilidad, bajo PCG, baja toxicidad y costo reducido, baja eficiencia energética, es usado como un refrigerante alternativo, especialmente en compañías con programas ambientales [12].

### 2.4.3 Refrigerantes orgánicos

Son compuestos químicos o combinaciones de elementos de la tabla periódica que contienen carbono, excepto el R-744; los refrigerantes orgánicos más comunes son [12]:

- a) **Hidrocarburos (HC):** Son los compuestos bioquímicos formados por carbono e hidrógeno, los refrigerantes de este grupo son: etano (R170), propano (R290) e isobutano (R600a) [12].
- **Etano (R170):** Es un refrigerante más pesado que el aire; puede alcanzar largas distancias, localizar una fuente de ignición y regresar en llamas [12].
  - **Propano (R290):** Se utiliza como materia prima en diversos procesos químicos como reformación de vapor, clorinación y nitruración [12].
  - **Isobutano (R600a):** Es un refrigerante sustituto de los CFC especialmente para uso doméstico [12].

## 2.5 Refrigerantes más utilizados para contenedores frigoríficos.

### 2.5.1 R-134a

El gas refrigerante R134a es un hidrofluorocarburo que sustituye al R-12, tiene estabilidad térmica y química, baja toxicidad y no es inflamable, es utilizado en el aire acondicionado de los automóviles y en refrigeradores domésticos, en la tabla 2.1 se observan las propiedades físicas del refrigerante.

*Tabla 2.1 Propiedades físicas del refrigerante R-134a (Gasservei,,2017).*

Propiedades físicas	R-134a
Nombre químico.	1,1,1,2- Tetrafluoroetano
Peso molecular (kg/kmol)	102
Punto de ebullición (°C)	-26.2
Punto de congelación (°C)	-101
Temperatura critica (°C)	101.1

Densidad crítica (kg/l)	0.51
Densidad liquido 25°C (kg/l)	1.206
Densidad vapor 25°C (kg/l)	6.657
Presión crítica (bar)	40.67
Solubilidad en agua (%)	0.15

### 2.5.2 R-152a

Es un refrigerante conocido como difluretano, su ventaja principal es que es un refrigerante ecológico de media temperatura, sustituto del R134a con bajo GWP de 12, además de que presenta características termodinámicas superiores al R134a y los HFOs, el coeficiente de transferencia de calor del refrigerante en los evaporadores aumenta 20% debido a la mejora en sus propiedades físicas.

El R152a se encuentra clasificado como refrigerante de media seguridad, no es toxico, pero es ligeramente inflamable.

*Tabla 2.2 Propiedades físicas del refrigerante R-152a (Gasservei,2017).*

Propiedades físicas	R-152a
Peso molecular (g/mol)	66.051
Temperatura de sublimación(°C)	-24.7
Punto de congelación (°C)	-117
Temperatura crítica (°C)	113.15
Densidad liquido 25°C (kg/l)	899
Presión crítica (bar)	44.99
Calor especifico en fase vapor (KJ/Kg K)	1051
Calor especifico en fase liquida (KJ/Kg K)	1.8
GWP	124
ODP	0

### 2.6 Definición de cámara frigorífica

Una cámara de refrigeración también conocida como cuarto frio, es un recinto con aislamiento térmico, usadas para el almacenamiento y transporte de productos perecederos, que requieren de controlar ciertos parámetros mediante un sistema de refrigeración.

En la termodinámica se la puede considerar como un sistema cerrado, ya que la materia contenida en ella no entra en contacto con el exterior.

Es un recinto de gran tamaño, sirven para la conservación, refrigeración y congelación de alimentos perecederos que pueden ser almacenados por días e incluso semanas tales como son: cárnicos, pescados o frutas y tienen la finalidad de conservar las características organolépticas de los productos, así como de prolongar su tiempo de vida, controlando sus condiciones como temperatura y humedad.

### 2.6.1 Función de una cámara de refrigeración

Una cámara de refrigeración extrae energía en forma de calor contenida en su interior, por medio de un sistema frigorífico, en el interior de la cámara se ubica uno o más evaporadores, mientras el resto de los componentes del sistema son remotos.

El evaporador tiene como objetivo absorber energía térmica, al darse el cambio de estado del refrigerante; mientras el líquido se va evaporando a baja temperatura, en el interior del intercambiador de calor se absorbe energía térmica del aire que circula por las paredes exteriores del evaporador, el flujo de refrigerante se controla a por medio de una válvula de expansión, es necesario que la cámara se encuentre térmicamente aislada con la finalidad de disminuir la transferencia de calor por las diferentes paredes.

## 2.7 Aislantes

Los materiales aislantes (Figura 2.4) son aquellos que impiden parcialmente el paso de energía en forma de calor o electricidad, todos los materiales ofrecen resistencia al paso de calor, pero a diferencia de esos, el aislante tiene una mayor resistencia. Son utilizados en la construcción de cámaras frigoríficas debido a que crean una barrera que evita la transmisión de energía, manteniendo una temperatura adecuada en el interior, el aislamiento térmico se considera una forma muy eficiente de conservar el frío.

Al principio uno de los principales aislantes utilizados era el corcho, posteriormente se sustituyó por materiales orgánicos derivados del petróleo, como son: placas de poliestireno expandido, actualmente y con ayuda de las nuevas tecnologías se utiliza como aislantes para las cámaras frigoríficas paneles de sándwich.

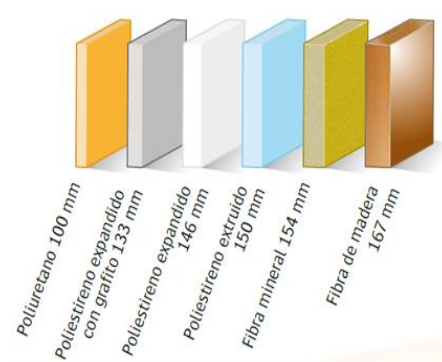


Figura 2.4 Materiales aislantes (Maquéz, 2018).

### 2.7.1 Poliestireno

#### a) *Poliestireno Expandido (ESP).*

Es un plástico rígido fabricado de perlas preexpandidas de poliestireno, presenta una estructura cerrada y rellena de aire, el color natural del poliestireno expandido es blanco debido a la refracción de la luz, este aislante presenta buena capacidad de aislamiento térmico a causa de la estructura del material, aproximadamente el material está constituido de un 98% aire y solo 2% es poliestireno.

El poliestireno expandido maneja un rango de temperaturas en el que se puede utilizar sin que sus propiedades se vean afectadas, para el extremo inferior no se tienen limitaciones sin embargo por el extremo superior se considera un límite de alrededor de 100°C para una corta duración y de 80°C para larga duración. Este material es usado principalmente para producir envases de alimentos debido a su capacidad para mantener la conservación de los mismos ya que no los pudre ni los descompone, gracias a su capacidad para absorber lo convierte en un material de uso típico para embalaje de algunos electrodomésticos y otros productos frágiles, sus densidades del poliestireno expandido oscilan entre los 10 y 25 kg/m<sup>3</sup> y una conductividad térmica aproximada de 0,06 y 0,03 W/m°C.

#### b) *Poliestireno extruido (XPS).*

Es un material térmico formado por planchas de espuma rígida con estructura de célula cerrada, se caracteriza por sus elevadas prestaciones mecánicas, su alta durabilidad, por ser resistente al agua, evitando que se pudra, este aislante se usa normalmente en suelos y fachadas, cuenta con espesores que van desde 30mm hasta 100mm.

El poliestireno extruido es un aislante térmico efectivo, actualmente brinda aislamiento eficiente en: cubiertas planas, inclinadas, fachadas con aislante en la cámara de aire, puentes térmicos y suelos.

Este material tiene algunas propiedades y características similares a las del poliestireno expandido, su composición química es la misma pero la diferencia del poliestireno expandido es que el extruido es el único aislante térmico capaz de mojarse sin perder sus propiedades.

### 2.7.2 Poliuretano

Es un aislante en forma de espuma que contiene gas en sus células, las características de este material es que cuenta con una baja conductividad térmica y una alta resistencia térmica, pero esta depende del espesor del material.

### 2.7.3 Fibra mineral

#### a) *Lana mineral.*

La lana mineral como aislante es un material que forma un tejido y mantiene entre ellos aire en estado inmóvil, esta estructura permite obtener productos aislantes muy ligeros que ofrecen altos niveles de protección frente al calor, el ruido y el fuego. Están reconocidas como aislantes térmicos por el entrelazado que mantiene el aire inmóvil son materiales

incombustibles por su origen inorgánico, se puede usar en cubiertas, fachadas, conductos de ventilación, chimeneas, tuberías, elementos estructurales, se considera un buen aislante contra el frío, el calor, el ruido e incluso el fuego resistiendo temperaturas superiores a 1,000°C sin generar gases ni humos tóxicos.

### b) Lana de vidrio.

La lana de vidrio es un material aislante que se utiliza para la construcción y la industria, su estructura está formada por fibras de vidrio largas y finas, ligadas con una resina térmicamente endurecida formando una cortina aislante flexible y ligera.

Los productos de lana de vidrio tienen una estructura de fibras cruzadas desordenadas y gracias a la porosidad abierta, la lana mineral de vidrio permite que el aire quede obstruido en el interior de los poros, brindando poca conductividad, se provee en forma de mantas y paneles, con distintos recubrimientos o sin ellos.

La lana de vidrio comparado con otros aislantes, es más ligera y de baja conductividad térmica, esto brinda más eficacia porque mantiene un mismo espesor y se obtiene una mayor y más eficiente resistencia térmica.

### 2.7.4 Espuma de Poliuretano

Es de los principales materiales utilizados actualmente en diversas ramas, de la construcción de viviendas, edificios, botes o barcos, aviones, etc, es un aislante (Figura 2.5) que forma una unión impermeable y hermética que impide el paso de las corrientes de aire, humedad e insectos, se aplica en:

- Paneles de aislamiento
- Aislamiento Comercial y Residencial
- Aislamiento Industrial
- Barcos, Lanchas, Diques flotantes
- Aviones: para aumentar la fuerza estructural de las alas



*Figura 2.5 Espuma de poliuretano (Maquéz, 2018).*

## 2.8 Condiciones de diseño del contenedor frigoríficas

Durante el diseño de este contenedor frigorífico es importante seleccionar un adecuado fluido refrigerante de acuerdo a las condiciones de temperatura que se desean alcanzar. El refrigerante más común para el uso en contenedores refrigerados es el R134a debido a que



actualmente es un refrigerante que se considera dañino para la atmósfera, se propone un sustituto del mismo considerando su bajo GWP y su nulo ODP, se propone como fluido refrigerante el R-152a, en la selección del aislante se considera la conductividad térmica del material y las condiciones óptimas de almacenamiento, el aislante propuesto es espuma de poliuretano ya que permite una menor transferencia de calor a través de las diferentes paredes que la componen.

### 2.9 Energía solar

La energía solar es renovable debido a que proviene de una fuente natural (sol), la cual es obtenida a partir de la radiación electromagnética del sol, esta energía se puede captar a través de células fotoeléctricas y se puede aprovechar en forma de energía térmica o de energía eléctrica para su consumo [41].

En las celdas solares la radiación solar no se transforma en calor, sino que directamente se convierte en electricidad, a través del efecto fotovoltaico [41].

El efecto fotovoltaico fue descubierto el 1839 y consiste en que la luz puede generar una corriente eléctrica al iluminar ciertos materiales. A pesar de este temprano descubrimiento, fue hasta la década de los años cincuenta del siglo XX que se encontró un material que presentaba dicho efecto de forma eficiente el cual actualmente es conocido como silicio [41].

El efecto fotovoltaico se basa en el uso de materiales semiconductores, que se caracterizan porque conducen la electricidad mejor que un aislante y con menor eficiencia que un metal, pero sobre todo porque mejoran su capacidad para conducir la electricidad al ser iluminados. Cuando la luz incide sobre un semiconductor, la energía suministrada ayuda a darle mayor movilidad a algunos de los electrones presentes en el material, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta [41].

### 2.10 Sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos son una fuente de energía renovable que produce energía obtenida directamente de la radiación solar, esta energía generalmente se consigue mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica que agrupados forman el panel fotovoltaico [42].



Figura 2.6 Esquema general de un sistema fotovoltaico (Elaboración propia).

En general un sistema fotovoltaico (Figura 2.6) se conforma de los siguientes elementos:

- Generador fotovoltaico.
- Batería de acumulación.
- Regulador de carga.
- Inversor.
- Consumo.

### ***2.10.1 Paneles fotovoltaicos***

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos que aprovechan la radiación solar incidente sobre ellos convirtiéndola en energía eléctrica. Los paneles solares en un sistema fotovoltaico se comportan como una pila eléctrica, en serie para aumentar la tensión entre los extremos y en paralelo para aumentar la corriente máxima que pueden proporcionar, con el fin de aumentar la potencia total del sistema sin aumentar la tensión de trabajo [42].

Hay varios tipos de paneles fotovoltaicos dependiendo de su tecnología de construcción y sus componentes: Silicio cristalino, Capa delgada, Silicio amorfo, Teluro de Cadmio.

### ***2.10.2 Baterías***

La energía que producen los sistemas fotovoltaicos se almacenan en baterías, para que la energía solar producida durante el día se pueda ocupar en la noche [42].

Existen diferentes tipos de baterías, las más utilizadas para sistemas fotovoltaicos son de Plomo –ácido (Pb-a), debido a que son células electroquímicas en las que las reacciones de electrodos son reversibles y son capaces de acumular energía para posteriormente liberarla cuando son conectadas en un circuito exterior [42].

### ***2.10.3 Regulador de carga***

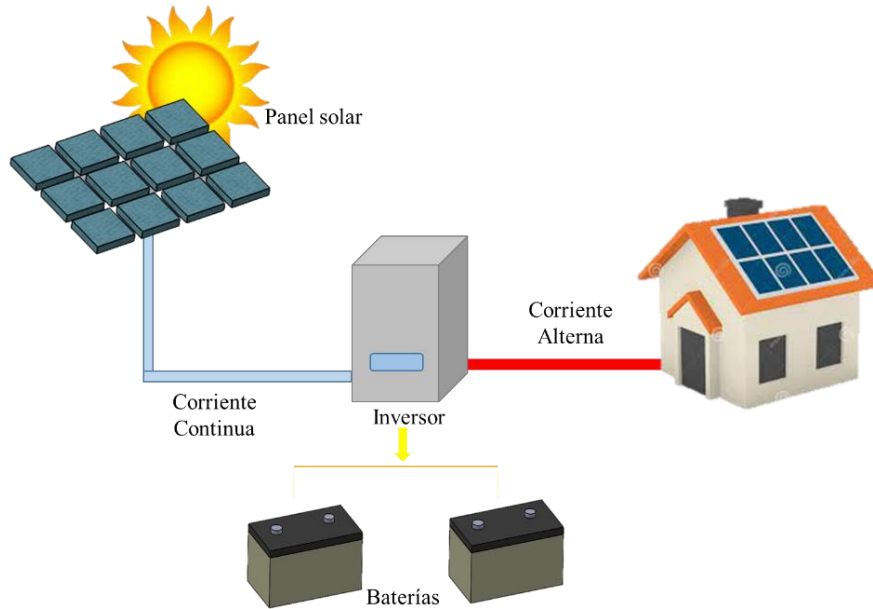
El regulador de carga es el encargado de proteger las baterías de la sobre carga y descarga de que podrían dañarlas y acortar su vida de utilidad, lo que permite un máximo aprovechamiento de la energía suministrada por el generador fotovoltaico, en el caso de que exista una sobrecarga en las baterías el generador evita el paso de corriente, una de las principales funciones del regulador de carga es el suministro de energía en el sistema y evita que la batería se descargue completamente [42].

### ***2.10.4 Inversor***

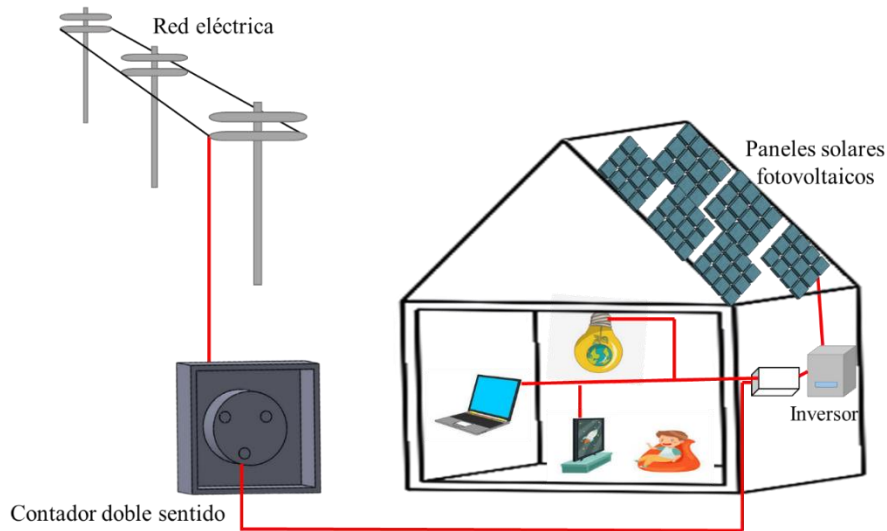
Los paneles fotovoltaicos generan corriente eléctrica continua que no permite mover los dispositivos eléctricos como motores, por ello la necesidad de utilizar un inversor, mismo que se encarga de convertir la corriente eléctrica continua en corriente eléctrica alterna con características establecida por la red, la cual permite el funcionamiento de todos los equipos requeridos en un sistema de refrigeración [43].

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en dos tipos los cuales se mencionan a continuación

- *Sistemas fotovoltaicos autónomos.* Aquellos sistemas que se encuentran aislados de la red eléctrica (Figura 2.7).
- *Sistemas fotovoltaicos conectados a la red:* Son sistemas conectados que están directamente conectados a la red eléctrica (Figura 2.8).



**Figura 2.7** Sistema Fotovoltaico Autónomo (Elaboración propia).



**Figura 2.8** Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (Elaboración propia).

## CAPITULO 3.

### CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

#### 3.1. Alimentos perecederos

Los alimentos perecederos son aquellos que al estar en contacto con la temperatura ambiente inician rápidamente su descomposición, para mantenerlos en buen estado es importante controlar factores como: presión, temperatura y humedad utilizando la congelación o refrigeración como un método de conservación, de esta forma se inhibe el crecimiento microbiológico que pueda afectar a la salud del consumidor.

Conservar las propiedades organolépticas de los productos depende del buen funcionamiento de la cadena de suministro, en la cual es importante controlar la temperatura en cada punto, por ello durante el transporte de los productos perecederos se debe contar con un equipo especial que permita la correcta conservación del alimento. El acuerdo sobre transporte internacional de mercancías perecederas (ATP) tiene como objetivo asegurar la mercancía transportada de modo que tenga las condiciones recomendables para su consumo. De acuerdo con la ATP establece un listado de los productos perecederos y se clasifican de la siguiente manera: (Tabla 3.1).

*Tabla 3.1 Alimentos perecederos (Tatomafrio, 2018).*

ALIMENTO	TEMPERATURA
Cremas heladas	-20°C
Pescados, moluscos, crustáceos congelados y ultracongelados	-18°C
Mantequilla congelada: -10°C Carne (excepto despojos rojos)	7°C
Despojos rojos	3°C
Ave de corral y conejos	4°C
Productos de caza	4°C
Productos lácteos refrigerados	4°C
Mantequilla	3°C
Leche industrial	6°C

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

Leche en cisterna destinada al consumo inmediato	4°C
--------------------------------------------------	-----

En este proyecto se proponen un contenedor que tiene como objetivo únicamente el transporte de alimentos de origen animal debido a que en el Sureste de México es lo que más se produce y a que los cárnicos tienen en común que se pueden conservar bajo un rango similar en cuanto a sus propiedades termodinámicas.

### 3.2. Alimentos de origen animal

Los alimentos más consumidos de origen animal son: Carnes rojas, pescados, huevos y lácteos, que son ricos en potasio, hierro, yodo, calcio y zinc, tienen vitamina D, K, A. Los alimentos de origen animal son esenciales para una dieta adecuada, el hierro suministrado por la carne y el pescado se absorbe con facilidad.

### 3.3 Carnes rojas

El Codex Alimentarius define la carne como todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin, normalmente se denomina carne al músculo esquelético de los animales de sangre caliente producidos principalmente por las técnicas ganaderas modernas, además del músculo también se consideran productos cárnicos a: la sangre, grasa, vísceras, huesos, que se utilizan para elaborar varios tipos de alimentos y productos industriales [19].

La carne roja puede ser de vacuno, ternera, vaca, buey, toro, jabalí, liebre, perdiz, o vísceras, hígado y riñones, se le llama carne roja por su color (ver figura 3.1), ya que tiene un alto contenido en mioglobina, un pigmento rico en hierro, es más jugosa que la carne blanca, pero aporta mayor cantidad de grasas saturadas, por lo que se debe tener un control en su consumo, las carnes rojas son las más ricas en hierro y en vitaminas, como ácido fólico o la vitaminas B12, B1, B2 y B5 [19].



*Figura 3.1* Aspecto normal de la carne roja (Rodríguez, 2019).

### 3.3.1 Propiedades organolépticas de las carnes rojas.

Las propiedades organolépticas pueden variar dependiendo de factores intrínsecos y extrínsecos; los intrínsecos se refieren a los factores del propio animal como: sexo, edad, especie y raza, por ejemplo, no tiene el mismo color un corte de ganado porcino que un corte de ganado bovino, los factores extrínsecos dependen del entorno que lo rodea como de las condiciones del medio ambiente: clima, alimentación, transporte y estrés al que es sometido el animal [21].

Otras características organolépticas que se deben tomar en cuenta al momento de consumirla carne son:

- *Color.*

La carne tiene un color rojo oscuro característico, gracias al pigmento llamado mioglobina, esto depende de la alimentación del animal y de su sacrificio, si los animales son alimentados con productos altamente clorofílicos (verde) dan el color más oscuro e intenso. El color rojo rutilante de un músculo recién cortado se oscurece a medida que el oxígeno actúa, llegando a ser casi negro [21].

- *Olor.*

Tiene un olor difícil de definir, está dado por la especie animal debido a que los ácidos grasos volátiles son diferentes para cada especie, el aroma es una de las características que más importante a considerar para asegurar la calidad de la carne [21].

El olor de la carne cruda debe ser un olor débil a ácido láctico, su intensidad aumenta cuando la carne proviene de animales viejos, y se incrementa cuando ha estado durante mucho tiempo en refrigeración sin la temperatura óptima de conservación, desprendiendo un aroma a putrefacción debido a la descomposición de proteínas y a rancio por la oxidación de sus grasas.

Los cárnicos que son envasados al vacío o en atmósferas modificadas pueden presentar un olor desagradable debido a la presencia de bacterias anaerobias, una vez abierto el paquete estas morirán al estar en contacto directo con el oxígeno del aire desapareciendo ese aroma en unos minutos, si este se mantiene es un indicador de que la carne no es inocua y no tiene la calidad necesaria para ser consumida [21].

- *Sabor.*

No tiene sabor definido depende de cada especie animal, del tiempo transcurrido entre el momento del sacrificio y el consumo [21].

- *Terneza.*

La suavidad o dureza dependen de varios factores como: [21]

- Edad del animal.

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

- Régimen de vida.
- Alimentación.
- Forma de cortar las piezas.
- Forma de preparar la carne.
- Ubicación anatómica de la carne.

### 3.3.2 Propiedades químicas de las carnes rojas

La composición de la carne es: agua, proteínas, aminoácidos, minerales, grasas, ácidos grasos, vitaminas y otros componentes (Tablas 3.2, 3.3 y 3.4), como pequeñas cantidades de hidratos de carbono, esta composición depende de diferentes factores como: especie, raza, alimentación, edad, sexo y zona anatómica [22].

**Tabla 3.2** Composición química de las carnes rojas en 100 gr (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

Carne	Calorías (kcal)	Humedad (g)	Proteínas (g)	Grasas (g)	GS (g)	GMI (g)	GPS (g)	Colesterol (mg)
Carne de vacuno	174	65	23.6	5.7	2.1	2.4	0.2	69
Carne de cordero	258	58	25.5	16.5	6.9	7	1.2	93
Carne de cerdo	293	53	25.1	20.7	7.5	9.5	2.3	93

GS: Grasas saturadas. GMI: Grasas monoinsaturadas. GPS: Grasas poliinsaturadas

**Tabla 3.3** Composición química de las vísceras en 100 gr (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

Carne	Calorías (kcal)	Humedad (g)	Proteínas (g)	Grasas (g)	GS (g)	GMI (g)	GPS (g)	Colesterol (mg)
Hígado cocido	161	56	24.4	4.9	1.9	0.7	1.5	398
Sesos cocidos	160	76	11.1	12.6	2.9	2.5	1.1	2054

GS: Grasas saturadas. GMI: Grasas monoinsaturadas. GPS: Grasas poliinsaturadas

**Tabla 3.4** Composición química de los diferentes cortes (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

Especie	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)
<b>PORCINO</b>			
Pierna	58.8	17.7	20.2

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

Chuleta	60.4	16.4	21.7
Espalda	60.1	17	22
<b>VACUNO</b>			
Lomo	67.6	20.8	9.8
Solomillo	73.1	21.2	4
Pierna	71.2	21.2	7.2
Costilla	58.7	19.2	20.3
Espalda	69.5	29.8	9.3

### 3.3.3 Temperatura de conservación de las carnes rojas.

La conservación de la carne se inicia desde el matadero, donde debe enfriarse correctamente y almacenarse en cámaras frigoríficas hasta su salida, cuando la temperatura de refrigeración baja de los 4°C se reduce el metabolismo de los microorganismos, se deben mantener temperaturas inferiores dentro de las cámaras de refrigeración, la carne de res, ternera, cordero y de cerdo puede mantenerse cinco días en refrigeración y seis meses en el congelador, partes como la lengua, los riñones, el corazón y el hígado sólo pueden mantenerse dos días en enfriamiento [20].

Las carnes rojas pueden se conservan a una temperatura entre 8 a 10 °C mientras que por congelación es de -12 a -18 °C. Para el proceso de descongelamiento debe ser lento, levitando ruptura brusca de cristales o hielo que dañen las fibras musculares [20].

La humedad relativa (HR) durante la conservación de carne roja es muy importante, ya que la humedad excesiva beneficia la aparición de bacterias y mohos en la parte superficial de la carne, pero si existe poca humedad la carne pierde peso [20].

### 3.3.4 Proliferación de microorganismos en las carnes rojas.

La proliferación de microorganismos está determinada por factores intrínsecos y extrínsecos, como factores intrínsecos se les conoce a las propiedades físicas, químicas y estructurales de la carne, los más importantes son: actividad del agua, pH, nutrientes disponibles, sustancias antimicrobianas naturales, composición, tipo y grado de contaminación microbiana inicial, los factores extrínsecos son aquellos relacionados con el ambiente en el que se almacena la carne y los más relevantes son la temperatura y la atmósfera del envasado [19].

Las carnes son fácilmente alterables, pues tienen un pH entre 5.1 y 5.6, ideal para la proliferación de microorganismos y un potencial de reducción que permite el crecimiento de los anaerobios en profundidad y los aerobios en la superficie, las bacterias que se encuentran en la carne son causadas principalmente por el contacto de la canal con el cuero del animal, con las materias fecales o provienen del agua, la carga microbiana inicial de la carne fresca



esta relacionada con las buenas prácticas de producción durante el faena, el deterioro más importante es causado por cepas aeróbicas gram-negativas de *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter* y *Aeromonas*; la bacteria anaeróbica facultativa *Shewanella putrefaciens*, el *Lactobacillus gram-positivo* y *Brochothrix thermosphacta*, las bacterias predominantes asociadas con el deterioro de la carne en condiciones refrigeradas son: *Brochothrix thermosphacta*, *Carnobacterium* spp., *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillus* spp., *Leuconostoc* spp., *Pseudomonas* spp y *Shewanella putrefaciens* [19].

- pH de la carne.

El crecimiento de bacterias incorporadas con el deterioro de la carne puede ser parcial o totalmente inhibido cuando los valores de pH de la carne están cercanos a 5.5, el bajo pH puede afectar el potencial de crecimiento de algunas bacterias [20].

Las especies de alto potencial de deterioro, como *Brochothrix thermosphacta* y *Shewanella putrefaciens*, pueden crecer y ocasionar un deterioro acelerado bajo condiciones de envasado al vacío, la carne seca, firme y negra con pH elevado y el tejido adiposo se deterioran más rápidamente que la carne de pH normal debido a que los aminoácidos son degradados rápidamente, la mayoría de las bacterias prefieren un pH neutro o cercano a la neutralidad para su crecimiento, las bacterias lácticas toleran un pH inferior a los de las bacterias gram-negativas que se encuentran comúnmente en las carnes.

- Disponibilidad de los nutrientes.

La glucosa es el sustrato que permite el crecimiento de todos los tipos de bacterias encontradas en carnes rojas a un pH normal o elevado, almacenadas en condiciones refrigeradas en envases aeróbicos, al vacío, o en atmósfera modificada, bajo las condiciones aeróbicas, el deterioro es más frecuentemente utilizando los aminoácidos por *Pseudomonas* spp [20].

- Temperatura.

La temperatura es uno de los factores más importantes ya que interviene en el proceso de la proliferación de bacterias en la carne, las bajas temperaturas ayudan a disminuir el crecimiento de todas las bacterias que deterioran la carne, aparte de los efectos inhibitorios específicos sobre *Pseudomonas* spp, la temperatura adecuada de almacenamiento para la carne refrigerada es de  $-1,5 \pm 0,5$  °C [20].

### 3.3.5 Condiciones inocuas de las carnes rojas

Las alteraciones de la carne debido a su composición y a su interacción con factores físicos o químicos como: la luz, la temperatura o el aire, las alteraciones más frecuentes son: enranciamiento, enmohecimiento, putrefacción y coloraciones anormales, las cuales podrían afectar la salud del consumidor, por ello es importante mantener la carne en condiciones de inocuidad para que se mantenga en buen estado para el consumo humano.

La carne roja puede contaminarse con algunos agentes:

### a) Químicos:

- Medicamentos veterinarios.
- Hormonas y promotores de las producciones.
- Contaminantes ambientales: dioxinas, insecticidas, plaguicidas.

### b) Biológicos:

- Parásitos.
- Microorganismos.
- Priones.

Para evitar la contaminación se deben tener algunas medidas de higiene como: limpieza de los establos, buenas prácticas ganaderas, aplicación de medicamentos bajo estricto control veterinario, el transporte hasta el matadero y la estabulación hasta el momento del sacrificio se deben hacer en las condiciones más inocuas posibles.

Durante el transporte se deben tomar en cuenta algunas medidas de higiene para evitar la contaminación de la carne:

- Utilizar medios de transporte en condiciones de higiene es decir limpios y desinfectados.
- No transportar la carne junto con otros productos que puedan llegar a contaminarla.
- Transportar las canales o las piezas colgadas en recipientes apropiados, impidiendo el contacto con las paredes o el suelo del vehículo.
- Realizar el transporte a la temperatura adecuada ya sea de refrigeración o congelación.

En el almacenamiento de la carne también debe tomarse en cuenta las condiciones de inocuidad ya que este es uno de los pasos más importantes para que la carne no tenga contaminación cuando esta llegue al consumidor se tiene que tener precaución en evitar romper la cadena de frío que inicia desde el sacrificio, durante el almacenamiento se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- Evitar que los productos se encuentren en contacto directo con el suelo en el interior de la cámara.
- No almacenar las carnes frescas junto con otros productos como: productos curados, frutas y verduras.
- Mantener una circulación de aire adecuada en el interior de las cámaras.
- No superar los tiempos de almacenamiento recomendados.
- Aplicar limpieza y desinfección de las cámaras y locales frecuentemente.
- Asegurarse que las cámaras mantengan la temperatura adecuada para que no exista la proliferación de microorganismos.

### 3.4 Pescados y mariscos

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

Los pescados y mariscos son todos aquellos animales que viven en el agua, siempre y cuando sean comestibles. El grupo más grande se conforma por los pescados, que se dividen en variedades:

- a) Carne magra: Que son lenguado, bacalao, huachinango, etc.
- b) Carne semigrasa: Dentro de los cuales están la sardina, bonito o jurel.
- d) Grasos: Como el salmón, el atún, la angula y el arenque.

Los mariscos se dividen en cuatro: [24]

- a) Moluscos: Como las ostras, los mejillones y las almejas.
- b) Crustáceos: Los cuales son la langosta y los camarones.
- c) Cefalópodos: Dentro de los cuales entran los calamares y el pulpo.

Este tipo de carne es más saludable en comparación con las carnes rojas, una porción de este grupo de pescados aporta menor cantidad de calorías que la carne de res, por ello es recomendable consumir más carne de pescado ya que es de fácil digestión para el consumidor, el pescado es un alimento rico en proteínas de alto valor biológico las cuales contienen todos los aminoácidos esenciales, es rico en grasas que contienen una alta proporción de ácidos grasos insaturados, en vitaminas y minerales [24], en la figura 3.2 se muestra el aspecto normal de la carne de peces y mariscos.



*Figura 3.2 Aspecto normal de la carne de peces (Marcelo, 2010).*

### 3.4.1 Propiedades organolépticas de pescados y mariscos

La frescura con la que el producto llega al mercado y se pone al alcance del consumidor es un factor de gran importancia que se debe tomar en cuenta para la calidad del pescado, las propiedades organolépticas de un pescado en buen estado son: [23]

- *Escamas*: Deben estar unidas entre sí y fuertemente adheridas a la piel, conservar brillo metálico, sin ser viscosas.
- *Piel*: Húmeda, tensa, adherida a los tejidos, sin arrugas ni laceraciones y debe conservar los colores y reflejos propios de cada especie, piel clara y brillante.
- *Mucosidad*: En las especies que tengan mucosidad tiene que ser acuosa y transparente.

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

- *Ojos*: Ocupan toda la cavidad orbitaria, son transparentes, brillantes y ligeramente salientes.
- *Opérculo*: Rígido con resistencia a su apertura, cara interna nacarada, vasos sanguíneos llenos y firmes, no deben romperse a la presión digital.
- *Branquias*: Color rosado o rojo oscuro, húmedas, brillante y sin olor.
- *Abdomen*: Terso, sin diferencia externa con la línea ventral, tejidos resistentes al corte.
- *Poros anal*: Debe estar cerrado.
- *Visceras*: Colores vivos y bien diferenciados, paredes inferiores brillantes, vasos sanguíneos llenos que resistan la presión digital, olor suave.
- *Músculos*: Elásticos, firmemente adheridos a los huesos y no se desprenden de ellos al ejercer presión, color brillante.
- *Columna vertebral*: Color gris brillante.
- *Olor*: Agradable a mar.

### 3.4.2 Propiedades químicas de pescados y mariscos

Las propiedades químicas de los peces y mariscos varían entre las diferentes especies, dependen de la edad, sexo, tejido muscular, medio ambiente y estación del año, la composición química de estos se encuentra relacionada con la alimentación y cambios sexuales [23].

Los principales componentes químicos que poseen todas las especies de la carne del pescado y mariscos son: agua, proteína y lípidos, el contenido de hidratos de carbono en el músculo de pescado es bajo, normalmente menor al 0.5%.

El contenido en agua varía entre 60% y 80%, en proteínas es elevado comparado con otros tipos de carne, el colágeno se encuentra en baja proporción y se convierte fácilmente en forma gelatinosa cuando es sometido a altas temperaturas, en los pescados azules o grasos, la grasa se encuentra en el tejido muscular; mientras que en los pescados magros, la grasa se acumula en el hígado, los peces contienen pocos ácidos grasos saturados la mayor parte son ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados especialmente omega 3, el músculo oscuro tiene una composición química diferente al músculo blanco, el oscuro tiene un alto contenido de lípidos y hemoglobina comparados con el blanco, los músculos oscuros contienen alrededor de 2 a 5 veces más lípidos que los músculos blancos (ver tabla 3.5 y 3.6) [22].

**Tabla 3.5** Composición química de las diferentes especies de pescado en 100 g (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

<b>Pescados</b>	<b>Calorías (kcal)</b>	<b>Agua (g)</b>	<b>Proteínas (g)</b>	<b>Grasas (g)</b>	<b>GS (g)</b>	<b>GMI (g)</b>	<b>GPS (g)</b>	<b>Colesterol (mg)</b>
Meluzá	74	83.4	16.3	0.5	0.1	0.1	0.2	54

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

Mojarra	77	80	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	13
Trucha	119	71.9	20.5	3.5	1.2	1.1	1.2	59
Salmón	208	64.9	20.4	13.4	3.1	3.8	3.9	55
GS: Grasas saturadas. GMI: Grasas monoinsaturadas. GPS: Grasas poliinsaturadas								

**Tabla 3.6** Composición química de las diferentes especies de mariscos en 100 g (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

Mariscos	Calorías (kcal)	Agua (g)	Proteínas (g)	Grasas (g)	Carbohidratos (g)	Colesterol (mg)
Camarón	110	73	23.7	4.4	1.9	-----
Jaiba	115	72	18.3	29	38	10
Ostión	81	82	9.5	2.3	5	50
Pulpo	57	85	8.8	0.9	3.3	61

### 3.4.3 Temperatura de conservación de pescados y mariscos

Los pescados y los mariscos al ser alimentos perecederos alteran su composición rápidamente por el mal manejo de la temperatura, uno de los métodos de conservación más utilizado es el de la refrigeración debido a que permite mantener la calidad de los alimentos por un periodo de tiempo considerable, el tiempo en que se mantienen en buen estado depende de la especie, el método de captura y la manipulación del mismo, se aplican temperaturas de entre 0 y 4°C desde el momento de la captura y ésta debe mantenerse a lo largo de toda la cadena de frío en los barcos y puntos de venta. **La refrigeración se realiza con hielo que es fabricado con agua de mar, alcanza temperaturas a 0°C sin que los pescados y mariscos lleguen a congelarse, lo que favorece una conservación más larga, los camarones, ostiones, langosta y calamares frescos solo pueden refrigerarse dos días, en el congelador resisten de tres y seis meses, mientras que los pescados duran de 5 a 7 días, en refrigeración y congelado dura mucho más tiempo** (Tabla 3.7) [23].

**Tabla 3.7** Tiempo de conservación de los pescados (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

Pescado	Refrigeración	Congelación
Pescados magros	1 a 2 días	6 meses
Pescados grasos	1 a 2 días	2 a 3 meses

### 3.4.4 Proliferación de microorganismos de pescados y mariscos

La contaminación biológica de los alimentos es causada por microorganismos, bacterias, hongos y virus, que son capaces de producir toxinas y causar enfermedades en el consumidor, muchos de los alimentos contaminados no presentan cambios aparentes, por lo que los consumidores no pueden advertir el riesgo que representan para su salud, es importante prevenir la contaminación de los alimentos por medio de las buenas prácticas de higiene, el deterioro de los pescados es causado principalmente a la autólisis, la oxidación química de lípidos, el crecimiento bacteriano y el metabolismo y esto provoca un olor desagradable [23].

*Photobacterium* sp, *Shewanella putrefaciens*, *Brochothrix thermosphacta*, *Pseudomonas* spp, *Aeromonas* spp y bacterias lácticas son partes de la microbiota de los pescados de agua templada, *S. putrefaciens* es el microorganismo principal del deterioro de los pescados y mariscos de agua fría almacenados sobre hielo, *Vibrio parahaemolyticus*, *V. cholerae* y *V. vulnificus* son especies de *Vibrios* que causan infecciones relacionadas a los pescados y mariscos, también *Salmonella* y *Shigella* son contaminantes no tan comunes en peces, *Pseudomonas aeruginosa* es un patógeno que puede ocasionar infecciones en personas con las defensas bajas y las cepas patógenas tienen una alta resistencia a los antibióticos debido a un plásmido, la proliferación de microorganismos no solo depende del control de temperatura, también depende del pH, los microorganismos normalmente crecen en un pH ácido el cual es importante controlar por medio de la temperatura, los pescados y mariscos son más propensos a la contaminación de microorganismos por la actividad de agua que poseen.

### 3.4.5 Condiciones inocuas de peces y mariscos

Es importante la inocuidad de los peces y mariscos ya que un mal manejo de ellos podría ocasionar daños a la salud del consumidor, los riesgos pueden presentarse a lo largo de toda la cadena alimentaria, y estas varían en función de la especie o el tipo, del entorno acuático del animal y de los procedimientos de manipulación y elaboración durante la recolección de los mismos, una característica muy importante de los peces y los mariscos crudos es que son perecederos, por lo que una vez recolectados y muertos se deterioran rápidamente y ya no son aptos para el consumidor, y dejan de ser aptos para el consumo por las siguientes razones [23]:

- Proliferación de los microorganismos presentes en el interior del pescado, que dan lugar a la descomposición de músculos y tejidos y a los malos olores.
- Ranciedad de aceites y grasas.

## 3.5 Carne de ave

La carne pollo es una de las más consumidas en el mundo, se considera una de las principales proteínas de origen animal para su consumo, es fácil de digerir y contiene nutrientes que cumplen las necesidades de la alimentación humana, la carne de pollo es como se denomina a los tejidos musculares y órganos originarios del pollo, es una de las proteínas más recomendadas para una alimentación balanceada y saludable, en la figura 3.4 se muestra el aspecto normal de la carne de ave.



*Figura 3.3 Aspecto normal de la carne de ave (Avicola,2006).*

### **3.5.1 Propiedades organolépticas de la carne de ave**

Las propiedades organolépticas en la carne se deben mantener a lo largo de toda la cadena de frío, las propiedades organolépticas de la carne de pollo son las siguientes [25]:

- Color

Presenta un color blanco, ligeramente amarillo y un color brillante uniformemente.

- Textura.

Debe mantener una piel lisa y tersa para encontrarse en condiciones óptimas de consumo.

- Apariencia.

Tiene cuello fuerte, muslos lisos y redondeados, pechuga ancha y rolliza, ojos brillantes y hundidos en órbita.

- Olor.

Presenta un olor característico del pollo.

Estas son las características organolépticas del pollo en una condición óptima para su consumo, es fácil diferenciar una carne en buenas condiciones y una en condiciones alteradas el color que presenta una carne en malas condiciones es un color de manchas violetas verdosas o alguna decoloración, un olor agrio y una textura babosa y pegajosa de esta forma se puede diferenciar fácilmente una carne de condiciones óptimas a condiciones alteradas [25].

### **3.5.2 Propiedades químicas de la carne de ave**

La composición química la carne se compone de agua, proteínas, aminoácidos, minerales, grasas y vitaminas, la composición química de la carne varía según distintos factores, tales como: especie, raza, alimentación, edad, sexo. La carne de pollo es un alimento con una alta densidad de nutrientes. El componente principal es el agua, que constituye del 70% al 75% del total, las proteínas oscilan entre el 20% y el 22%; y la grasa entre 3% y 10%, y algunos de los minerales como hierro, zinc, magnesio, selenio, cobalto, fósforo, cromo, vitamina A, B1, B3, B6, B12 y rivo flavina [22], (ver tabla 3.8).

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

**Tabla 3.8** Composición de la carne de pollo en 100g (Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria Chilena, INTA. 1997).

Carne	Calorías (kcal)	Agua (g)	Proteínas (g)	Grasas (g)	GS (g)	GMI (g)	GPS (g)	Colesterol (mg)
Carne de pollo	176	67	23.7	6.7	1.8	2.4	1.5	83

GS: Grasas saturadas. GMI: Grasas monoinsaturadas. GPS: Grasas poliinsaturadas

### 3.5.3 Temperatura de conservación de la carne de ave

La carne de pollo es uno de los alimentos más saludables que se puede consumir, para apreciar su sabor y las propiedades organolépticas, la carne de pollo es un alimento perecedero, por ello es necesario aplicar las técnicas de conservación de frío como la refrigeración y la congelación en la industria de alimentos, es muy importante mantener la cadena de frío es la forma más segura para evitar el deterioro de la carne de pollo, el pollo congelado que se descongele debe ser consumido lo más rápido posible, volver a congelarlo puede llevar a aumentar el índice de peróxidos, precursores de radicales libres, que pueden ser dañinos para la salud del consumidor, además permite el crecimiento de microorganismos.

La carne de pollo debe conservarse a una temperatura por debajo de los 4 °C para evitar el crecimiento de microorganismos y así poder evitar los riesgos de intoxicación, así como el deterioro de las propiedades organolépticas, es recomendable conservar la carne. El tiempo de refrigeración y congelación adecuado para conservar carne se muestra en la tabla 3.9 [25].

**Tabla 3.9** Tiempo de conservación del pollo.

Producto	Refrigeración	Congelación
Piezas de pollo en partes	1 a 2 días	9 meses
Pollo picado	1 a 2 días	3 a 4 meses
Pollo entero	1 a 2 días	1 año

### 3.5.4 Proliferación de microorganismos

Los alimentos de origen animal se pueden contaminar fácilmente, con los diferentes microorganismos que pueden proliferar en la carne, la contaminación microbiana es inevitable, en la carne de pollo se han encontrado diferentes especies de microorganismos y estos se pueden dividir en dos grupos que son los causantes de enfermedades a los humanos.

El agua que es consumida por los animales puede estar contaminada y ser causante de la contaminación en la carne, uno de los microorganismos más frecuente en la carne de ave es



## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

la salmonella, los pollos contagiados pueden extraer fácilmente *Salmonella* y *Campylobacter*, las patas y las canales son fuentes importantes de contaminación [25].

Un alimento alterado es aquel que presenta sabores u olores desagradables y extraños, los compuestos volátiles producidos por las bacterias son los responsables de malos olores detectados en la carne de pollo fresco, en general las bacterias de genero *Pseudomonas* y *Shewanella putrefaciens*, son las principales responsables del deterioro de contaminación en la carne, la *Acinetobacter* y *Moraxella*, normalmente se encuentran en las plumas.

Los factores que determinan el deterioro de la carne de ave son principalmente:

- La temperatura de almacenamiento.
- El recuento de microorganismos presentes.
- El pH.
- El tipo de envase.

La refrigeración es un método de conservación, la temperatura de almacenamiento es un factor importante que retrasa el crecimiento de los microorganismos, el pH de las piezas es de 6.4 a 6.7 mientras que el de las pechugas de 5.7 a 5.9, el envasado más apropiado para evitar la proliferación de microorganismos es en atmosfera modificada que consiste en envasar el alimento en una mezcla de gases distinta de la del aire, los gases más comunes para este envase son nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno en distintas concentraciones, en particular la carne de pollo requiere que las atmosferas presenten niveles de dióxido de carbono superiores al 20% para conservar la vida de anaquel de la carne de pollo.

### 3.5.5 Condiciones inocuas de la carne de ave

Para garantizar la calidad e inocuidad de la carne de pollo es importante mantener en todo momento la cadena de frío, por ello es necesario cumplir con las siguientes condiciones [25].

- Seleccionar un establecimiento que cumpla con las normas de buenas prácticas de manufactura.
- No dejarlo expuesto al calor ni al ambiente, cuanto mayor sea la exposición a temperaturas de entre 5°C y 60°C, mayor será la probabilidad de deterioro.
- Antes de refrigerar, retirar el empaque y eliminar cualquier líquido.
- Un pollo fresco, limpio y empacado en bolsa plástica transparente y limpia se conserva en el refrigerador por dos días de 2°C a 4°C.
- Para evitar que se rompa la cadena del frío, transporte el pollo en bolsa térmica.
- Evite que la carne de pollo entre en contacto con otros alimentos.

## CAPÍTULO 4.

# DISEÑO DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA PARA CONTENEDORES DE TREN

### 4.1 Condiciones de diseño de cámaras frigoríficas

Para el diseño del contenedor frigorífico se elige un fluido refrigerante de acuerdo a las condiciones de temperatura que se desean alcanzar, el refrigerante apropiado y amigable con el medio ambiente que se propone utilizar para este diseño es el refrigerante 152a, el aislante se elige en función de la conductividad térmica del material, considerando las condiciones exteriores e interiores del contenedor garantizando mantener las condiciones óptimas de los cárnicos, como aislante se propone espuma de poliuretano ya que permite poco paso de transferencia de calor, lo cual permitirá una óptima la conservación del alimento.

### 4.2 Temperaturas de operación

Cada producto tiene una temperatura óptima de almacenamiento misma que representa la condición ideal para su transporte y esta es la temperatura más baja que un producto puede soportar para no sufrir daños por frío, el daño por frío es un daño fisiológico que se produce en ellos al ser expuestos a bajas temperaturas pero que no llegan al punto de congelación, en los daños por congelación los productos pueden soportar temperaturas frías sin resistir daños por frío, pueden dañarse si alcanzan el punto de congelamiento [26].

Las condiciones de operación de la cámara frigorífica se basan en las temperaturas a las que los alimentos se deben conservar, es decir la carne roja va desde los 0 hasta los 2 °C en temperaturas de refrigeración y de transporte, en el caso de los pescados la temperatura óptima de refrigeración va de 0 a 4°C, Para el pescado su temperatura óptima debe estar por debajo de los 4°C.

Por lo tanto, la temperatura de operación del contenedor es de -5 °C, con una variación de +/- 2°C, la cual tendrá un regulador de temperatura para que la carne no sufra daños por refrigeración o congelación.

### 4.3 Sistema de refrigeración

En el capítulo 2 se habla de los tipos de sistemas de refrigeración, un sistema de refrigeración se basa en los principios termodinámicos, está diseñado para promover el intercambio de calor entre el proceso y el refrigerante, facilitando la liberación de calor que no se puede recuperar al medio ambiente, el sistema seleccionado para este diseño es el sistema de compresión simple a vapor (ver figura 4.1), debido a que es el más utilizado debido a su versatilidad y simplicidad.

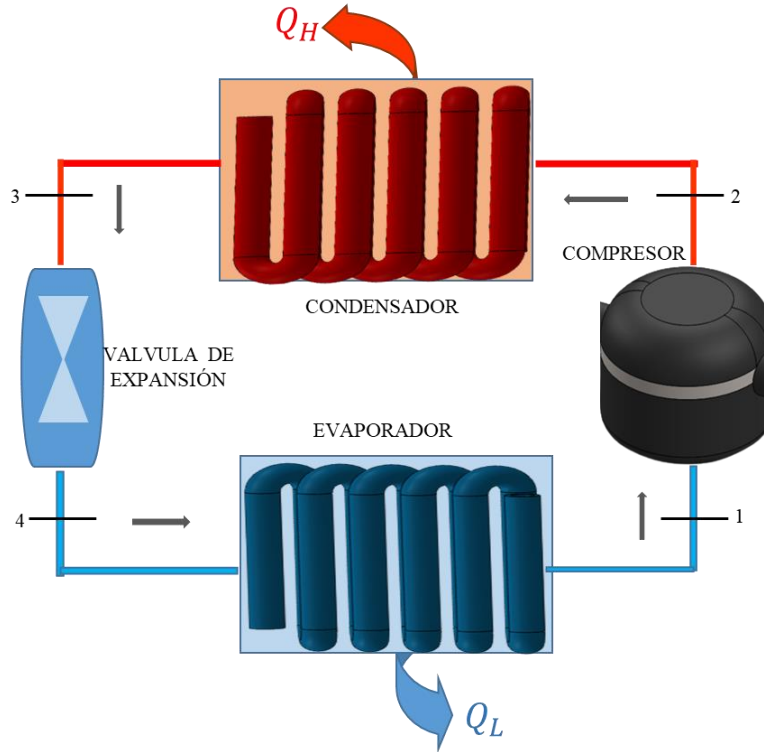


Figura 4.1 Sistema de refrigeración de compresión simple (Elaboración propia).

#### 4.4 Tipo de refrigerante

Los contenedores refrigerados utilizaban refrigerantes como R11 y R12, pero se descubrió que estos eran nocivos para la capa de ozono por lo tanto fueron prohibidos por el protocolo de Montreal, posteriormente se sustituyó por el refrigerante R22, sin embargo, también fue eliminado por la misma razón.

Para realizar una correcta elección del refrigerante se tomó en cuenta la temperatura de evaporación, las presiones relacionadas con el cambio de fase y lo más importante la cantidad de energía que puede absorber.

Para la propuesta de diseño del contenedor refrigerado se seleccionó el R-152a ya que es un refrigerante amigable al medio ambiente y aprobado por el protocolo de Montreal, además de que es el sustituto del R-134a y su ventaja principal sobre este es que es un refrigerante ecológico de media temperatura, presenta características termodinámicas superiores al R-134a y los HFOs, el coeficiente de transferencia de calor del refrigerante en los evaporadores aumenta 20% debido a la mejora en sus propiedades físicas.

Tabla 4.1 Propiedades físicas del refrigerante R-152a (Gasservei,2017).

Propiedades físicas	R-152a
Peso molecular (g/mol)	66.051
Temperatura de sublimación (°C)	-24.7

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

Punto de congelación (°C)	-117
Temperatura critica (°C)	113.15
Densidad liquido 25°C (kg/l)	899
Presión critica (bar)	44.99
Calor específico en fase vapor (KJ/Kg K)	1051
Calor específico en fase liquida (KJ/Kg K)	1.8
GWP	124
ODP	0

### 4.5 Tipo De Aislante

Existen varios tipos de aislantes, sin embargo, para una cámara frigorífica los aislantes más comunes son el poliestireno o espuma de poliuretano, para seleccionar un buen aislante térmico se debe tomar en cuenta la conductividad térmica, la durabilidad, la estabilidad dimensional, las prestaciones acústicas y reacción al fuego.

Para el diseño de esta cámara de refrigeración se propone el aislante espuma de poliuretano (ver figura 4.2).

Es de los principales materiales utilizados actualmente en diversas ramas, de la construcción de viviendas, edificios, botes, aviones, etc, es un aislante que forma una unión impermeable y hermética que impide el paso de las corrientes de aire, humedad e insectos, se aplica en:

- Paneles de aislamiento.
- Aislamiento Comercial y Residencial.
- Aislamiento Industrial.
- Barcos, Lanchas, Diques flotantes.
- Aviones: para aumentar la fuerza estructural de las alas.



*Figura 4.2 Espuma de poliuretano*

### 4.6 Dimensiones de los vagones

Con base a las normas para contenedores ferroviarios (ISO 668), se proponen las siguientes dimensiones (ver tabla 4.2), que cumplen con las condiciones para el transporte de cárnicos, en capacidad pueden almacenar máximo 33 europalets y 26 isopalets y puede cargar 27,005 kg en peso neto [30].

*Tabla 4.2 Dimensiones del contenedor (ISO 668).*

	Medidas externas	Medidas internas
Largo (m)	13.716	13.257
Ancho (m)	2.556	2.438
Alto (m)	2.896	2.575

### 4.7 Cargas térmicas y tipos.

La carga térmica se define como la cantidad de calor que debe ser retirada del sitio por refrigerar para reducir o mantener la temperatura deseada, para mantener fría una cámara y todo lo que esté contenido en ella, es necesario extraer el calor inicial y, luego, el que pueda entrar en ella, aunque se encuentre bien aislada [31].

La extracción total de calor,  $Q$ , se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = Q_{\text{producto}} + Q_{\text{otros}} \quad (4.1)$$

$Q_{\text{producto}}$ : representa las partidas que están relacionadas con la eliminación del calor sensible, del calor latente de solidificación, de las reacciones químicas, del embalaje y del calor absorbido por la congelación del agua de los alimentos o de los productos que se desea refrigerar.

$Q_{\text{otros}}$ : incluye entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelos y techos, la refrigeración del aire exterior que entra, la ventilación, las cargas térmicas debidas a los ventiladores, bombas, iluminación eléctrica, personas que manipulan los productos, etc.

#### 4.7.1 Balance térmico

Para poder determinar la capacidad del equipo que se necesita se debe realizar un balance térmico que se refiere a la realización de cálculos para conocer la cantidad de calor que se debe absorber o transferir al evaporador para mantener el producto dentro de las condiciones óptimas.

Se tienen las siguientes cargas:

- Carga térmica generada por el producto.
- Carga térmica generada a través de las paredes.

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

- Carga térmica generada por alumbrado o equipo.
- Carga térmica por ocupantes.
- Carga térmica generada por infiltración.

### 4.7.1.1 Carga térmica generada por el producto.

Siempre que un producto tenga una temperatura más alta y sea colocado en una cámara de refrigeración o congelación, el producto perderá su calor hasta que alcance la temperatura de almacenamiento.

Para poder determinar la carga térmica por producto se considera lo siguiente:

- Tipo de proceso a realizar (enfriamiento, refrigeración, congelación o criogenia)
- Tipo de calor a eliminar (Calor sensible, calor latente o ambos)

Para el cálculo de la carga térmica es de la siguiente manera, para calor latente.

$$Q_a = (m)(Cp_a)(\Delta t) \quad (4.2)$$

$$Q_b = (m)(Cp_b)(\Delta T) \quad (4.3)$$

Donde:

$Q_a$  Calor sensible que se elimina del producto arriba del punto de congelación.

$Q_b$  Calor sensible que se elimina del producto abajo del punto de congelación.

$m$ : Cantidad de masa del producto.

$Cp_a$  Calor específico arriba del punto de congelación.

$Cp_b$  Calor específico debajo del punto de congelación.

$\Delta t$ : Diferencia de temperatura.

Calculo de carga térmica para calor latente:

$$Q_l = (m)(h_L) \quad (4.4)$$

Donde:

$Q_L$ : Calor latente de fusión o cambio de estado.

$m$ : Cantidad de masa del producto para cambio de estado.

$h_L$ : Calor latente de fusión del producto.

El cálculo de la carga térmica del producto total se calculó de la siguiente forma:

$$Q_{total} = (-Q_a) + (-Q_b) + (-Q_L) \quad (4.5)$$

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

### 4.7.1.2 Carga térmica generada a través de las paredes.

La carga térmica a través de los muros es la transferencia de calor que se da por las diferentes paredes, debido a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la cámara. La temperatura en el interior del contenedor se consideró de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y la temperatura exterior igual al ambiente a lo largo de la ruta, la ecuación 4.6 permite calcular esta carga:

$$Q = (A)(U)(\Delta T) \quad (4.6)$$

Donde

$Q$ : Calor total de transmisión a través de las paredes.

$A$ : Área expuesta al flujo de calor.

$U$ : Coeficiente global de transferencia de calor.

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas.

Donde  $U$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{e_1}{k} + \frac{e_2}{k} + \frac{e_3}{k} + \frac{1}{f_2}} \quad (4.7)$$

Donde

$e$ : Espesor de la cámara.

$K$ : Coeficientes de conductividades térmicas de los materiales.

$U$ : coeficiente global de transferencia de calor.

$f$ : Factor de película de aire.

El cálculo para el suelo la temperatura exterior no será la misma, y se calcula de la siguiente manera:

$$T_{suelo} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{2} \quad (4.8)$$

Donde:

$T_{suelo}$  Temperatura del suelo.

$T_{ext}$  Temperatura exterior de la cámara frigorífica.

$T_{int}$  Temperatura interior de la cámara frigorífica.

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

### 4.7.1.3 Carga térmica generada por el alumbrado.

En las cámaras de refrigeración existen diferentes tipos de alumbrado que ceden energía calorífica al medio enfriado en el momento de operar, todos los sistemas de iluminación ya sean incandescentes o fluorescentes, transforman la energía eléctrica que reciben en calor, para calcular es de la siguiente forma:

$$Q_{\text{alumbrado}} = (\text{no. lamparas})(\text{watts de cada lámpara}) \quad (4.9)$$

### 4.7.1.4 Carga térmica generada por el equipo

Todas las máquinas son manejadas con motores eléctricos que emplean una parte de la energía consumida en lugar de transfórmala en calor, el calor cedido de los motores y sus máquinas afectan este medio de 3 formas:

1. El motor se encuentra fuera y la máquina en el interior del espacio, para el cálculo de la carga térmica se usa la siguiente expresión matemática:

$$Q_{\text{equipo}} = N(746) \quad (4.10)$$

2. El motor y la máquina se encuentran en el interior del espacio enfriado, para el cálculo se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$Q_{\text{equipo}} = \frac{N}{\eta} (746) \quad (4.11)$$

3. El motor está dentro el espacio y la máquina fuera del espacio:

$$Q_{\text{equipo}} = \left(\frac{N}{\eta} - N\right)(746) \quad (4.12)$$

Donde:

$N$ : Potencia del motor.

$\eta$ : Rendimiento del motor eléctrico.

746: Factor de conversión de HP a watts.

### 4.7.1.5 Carga térmica generada por infiltración

La infiltración representa una transmisión de calor por la entrada de aire exterior al interior de la cámara frigorífica, esta carga térmica es ocasionada al momento de la apertura de la puerta, la cual se puede descomponer en la suma de otras dos [40].

$$Q_{\text{inf}} = Q_1 + Q_2 \quad (4.13)$$

Donde



## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

$Q_{inf}$ : Carga térmica generada por infiltración.

$Q_1$ : Carga Térmica debida a las renovaciones técnicas de aire.

$Q_2$ : Carga Térmica debida a las renovaciones equivalentes de aire.

- *Carga térmica debida a las renovaciones técnicas de aire*

Es la debida a aquellas renovaciones que técnicamente son recomendadas para una buena conservación del producto, debe renovarse por aire fresco con una frecuencia que depende del producto almacenado dichos datos se encuentran en la tabla 4.3, esta carga térmica se calcula mediante la siguiente ecuación matemática [40].

$$Q_1 = m_a * \Delta h \quad (4.14)$$

$$m_a = V * \rho * n \quad (4.15)$$

Donde:

$m_a$ : Masa de aire Kg/día

$V$ : Volumen del recinto  $m^3$

$\rho$ : Densidad del aire  $Kg/m^3$

$n$ : numero de renovaciones técnicas del aire

$\Delta h$ : Diferencia de entalpia del aire, interior y exterior de la cámara

- *Carga térmica debida a las renovaciones equivalentes de aire*

Es aquella obtenida en función de las perdidas por infiltración, según el volumen de la cámara y el número de veces que se abre la puerta dependiendo del nivel de temperatura del recinto [40].

$$Q_2 = m_a * \Delta h \quad (4.16)$$

$$m_a = V * \rho * \theta \quad (4.17)$$

Donde:

$m$ : Masa del aire

$\Delta h$ : Diferencia de entalpia del aire, interior y exterior de la cámara

$V$ : Volumen del aire

$\rho$ : Densidad media del aire

$\theta$ : Tiempo de apertura de la puerta

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

$$V = \frac{a * H}{4} \sqrt{0.072 * H * \Delta T} \quad (4.18)$$

Donde:

$a$ : Ancho de la puerta

$H$ : Alto de la puerta

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas del aire exterior

**Tabla 4.3** Cambios de aire cada 24 horas en cuartos fríos por apertura de las puertas e infiltraciones (Ma. Teresa Sánchez, Pineda de las infantas, 2001).

Volumen $m^3$	Cambios cada 24 horas
5	52
10	24
15	19
20	22
25	14.5
30	13
40	11.5
50	10
60	9
80	7.7
100	6.8
101	6.772
150	5.4
200	4.6
250	4.1
300	3.7
400	3.1
500	2.8
600	2.5
800	2.1

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

1000	1.9
1500	1.5
2000	1.3
2500	1.1
3000	1.05

Las entalpías se obtendrán a partir de la carta psicométrica, y las densidades se obtienen a las tablas de la literatura del Cengel (2008)

### 4.7.1.6 Carga térmica generada por los ocupantes.

El cuerpo humano al desarrollar algún tipo de trabajo desprende una cantidad de calor aun cuando no realiza una actividad física, el hecho de estar vivos y que el organismo trabaje libera calor, la energía cedida por los ocupantes está en función directa de la actividad que se desarrolla en el interior del espacio, en esta cámara de refrigeración existirá un personal trabajando, los cuales disipan una cantidad de calor (ver tabla 4.4), para calcular la carga térmica cedida por los ocupantes, se identifica el equivalente de calor por persona:

$$Q_{persona} = (q_{persona})(no. persona)(t) \quad (4.19)$$

Donde

$Q_{persona}$  Carga térmica generada por ocupantes.

$q_{persona}$  Equivalente calorífico por persona tabla XI.

$no. persona$  Número de personas dentro de la cámara.

$t$ : Tiempo que permanecerá en horas.

**Tabla 4.4** Cantidad de calor desprendido por persona

Tipo de actividad	Calor sensible (W)	Calor latente (W)	Calor total (W)
Persona sentada en reposo	57	45	100
Persona sentada con trabajo ligero	57	60	117
Persona parada con trabajo ligero	59	73	132

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

Persona caminando en intervalos	59	88	147
Persona con trabajo ligero	64	155	219
Persona con trabajo medio	88	205	293
Persona con trabajo pesado	136	289	428
Persona con trabajo muy pesado	146	44	190

### 4.8 Energía suministrada por los paneles en un día

La energía que va a suministrar el panel solar al día depende de la irradiación de cada estado, y se calcula como la potencia de la batería por el recurso solar, dando como resultado la cantidad de energía suministrada al día.

$$E.S = P * R.S \quad (4.20)$$

Donde:

*E.S*: Energía suministrada.

*P*: Potencia del panel.

*R.S*: Recurso solar.

Para obtener el recurso solar se calcula la irradiación solar, datos obtenidos de la nasa “The Power Project” entre  $1000 \text{ W/m}^2$ .

$$R.S = \frac{\text{Irradiación Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (4.21)$$

### 4.9 Energía eléctrica requerida.

Para el consumo eléctrico se considera la eficiencia del compresor, debido a que es un maquina su eficiencia oscila entre un 80 al 90 %, para este caso se consideró una eficiencia del 80%.

Para determinar las horas de trabajo del compresor se conoce que un compresor trabaja entre el 60 y 70% para ente caso se consideró que el compresor trabajará 66% lo que equivale a 6

## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

horas con 30 minutos de trabajo y 3 horas de descanso de una ruta de 9 horas con 52 minutos, de la energía eléctrica requerida, la cual se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\eta_{electrica} = \frac{P.C * H.T}{Energía\ electrica} \quad (4.22)$$

Donde:

$\eta_{electrica}$ : Eficiencia del compresor

$P.C$ : Potencia del compresor.

$H.T$ : Horas de trabajo del compresor.

Despejando la energía eléctrica se obtiene la siguiente la ecuación:

$$Energía\ electrica = \frac{P.C * H.T}{\eta_{electrica}} \quad (4.23)$$

### 4.9.1 Panel solar seleccionado

Para este proyecto se seleccionaron los paneles solares, para realizar el dimensionamiento se tomaron en cuenta los datos de las gráficas mostradas anteriormente, haciendo un promedio de ellas.

En la tabla 4.5 se detallan las características del panel solar fotovoltaico seleccionado.

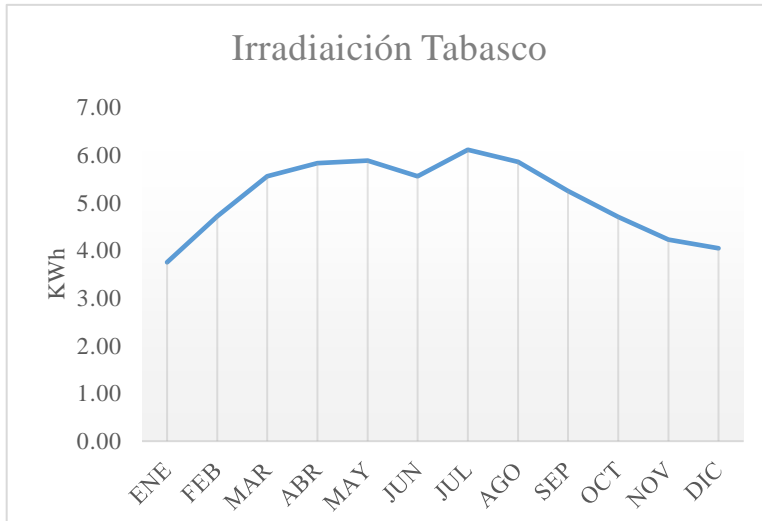
**Tabla 4.5** Características del Panel Solar

Características	
Potencia máxima	540 W
Eficiencia del modulo	20.90%
Máxima corriente (Imp/A)	12.97 A
Máximo Voltaje (Vmp/V)	41.64 V
Dimensiones	2279 x 1134 x35
Peso	28.6 kg
Voltaje máximo del sistema	1000V / 1500V

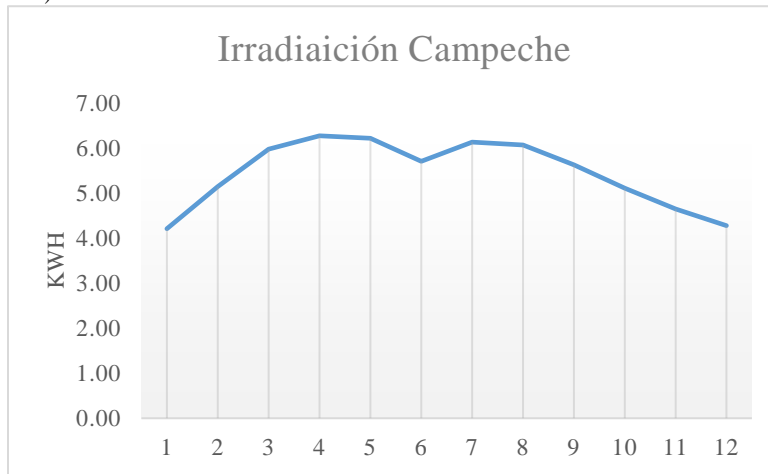
### 4.10 Irradiación solar

De acuerdo al análisis de irradiación estudiado durante los 10 años anteriores (2010-2020) se obtienen las siguientes graficas de radiación promedio que se muestran a continuación:

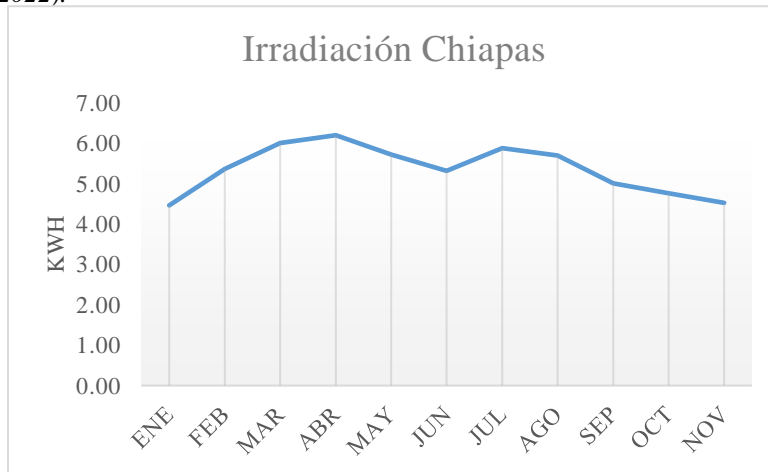
## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren



**Figura 4.3** Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el estado de Tabasco (NASA 2022).



**Figura 4.4** Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Campeche (NASA, 2022).



**Figura 4.5** Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Chiapas (NASA, 2022).

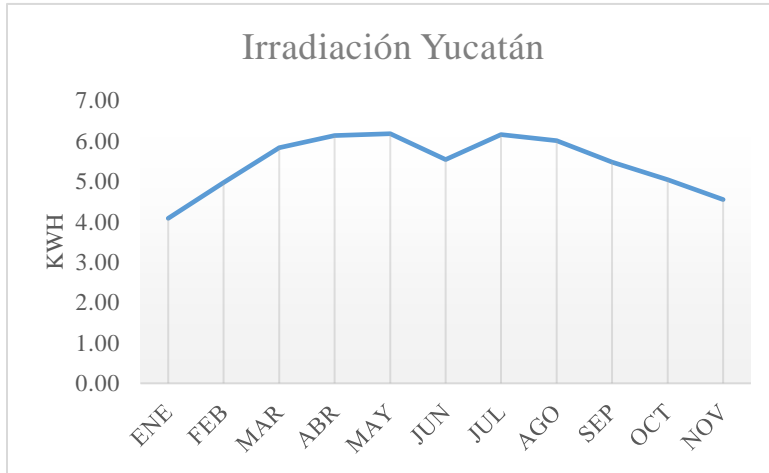


Figura 4.6 Irradiación promedio de los 10 años estudiados en el Estado de Yucatán (NASA, 2022).

#### 4.11 Características de las baterías propuestas

La selección de la batería se realiza a partir de la cantidad de energía suministrada por los paneles, debido a que es la energía que se desea almacenar, en la tabla 4.6 se observan las características de la batería propuesta para este diseño.

Tabla 4.6 Características de la batería seleccionada

Características de la batería	
Voltaje de la batería	24 V
Amperios	550 Ah
Profundidad de descarga	60%

##### 4.11.1 Dimensionamiento del número de baterías

El consumo de almacenamiento se calcula con la siguiente ecuación.

$$C.A = \frac{E.N}{V.B} \quad (4.24)$$

Donde:

*C.A*: Consumo de almacenamiento.

*E.N*: Energía suministrada por los paneles.

*V.B*: Voltaje de la batería.

El consumo de la batería se calcula con la siguiente expresión matemática.

$$C.B = \frac{C.A}{D.B} * \eta_{inversor} \quad (4.25)$$

Donde:

$C.B$ : Consumo de la batería

$C.A$ : Consumo de almacenamiento

$D.B$ : Descarga de la batería

$\eta_{inversor}$  : Eficiencia del inversor

#### 4.12 Selección del inversor propuesto

El inversor se seleccionó con base a la energía generada por los paneles fotovoltaicos, en la tabla 4.7 se detallan las características del inversor.

**Tabla 4.7** Características del inversor

Inversor	
Voltaje máximo de entrada	1000 V
Corriente máxima de entrada	32 A
Potencia nominal de salida	17000 W
Eficiencia	98.70%

##### 4.12.1 Dimensionamiento del inversor

Para calcular el número de inversores que se requieren en el arreglo fotovoltaico, se considera la potencia requerida por el inversor y la potencia generada por los paneles solares así la eficiencia del mismo, se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$P.R.I = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\eta_{inversor}} \quad (4.26)$$

Donde:

$P.R.I$ : Potencia requerida por el inversor

$P_{m\acute{a}x}$ : Potencia máxima generada

$\eta_{inversor}$  : Eficiencia del inversor

Para el cálculo del número de inversores se tiene la siguiente expresión matemática:

$$N.Inver = \frac{P.R.I}{P.S.I} \quad (4.27)$$



## Capítulo 4. Diseño de la cámara frigorífica para contenedores de tren

---

Donde:

*P. R. I*: Potencia requerida por el inversor

*N. Inver* Número de inversores

*P. S. I*: Potencia de salida del inversor

## CAPÍTULO 5.

# IMPLEMENTACIÓN DEL CONTENEDOR REFRIGERADO.

### 5.1 Dimensionamiento y estructura del contenedor frigorífico

Las dimensiones del contenedor se establecieron de acuerdo a la norma ISO 668 para contenedores frigoríficos, en la tabla 5.1 se muestran las dimensiones del mismo y de la puerta de carga y descarga del producto, en la figura 5.1 se muestra el diseño del contenedor de la parte exterior.

Tabla 5.1 Dimensiones del contenedor (ISO 668).

	Puerta (m)	Medida (m)
Largo	2.28	13.71
Ancho	-----	2.556
Alto	2.195	2.896

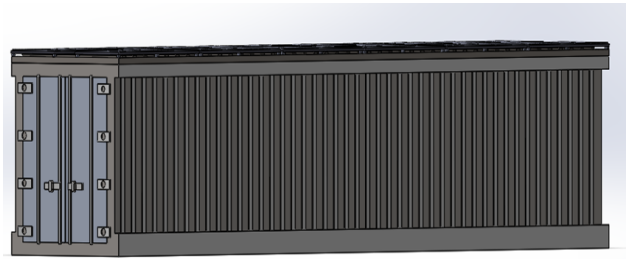


Figura 5.1 Diseño del contenedor frigorífico (Elaboración propia).

#### Cálculo del área del contenedor

Área puerta

$$A_{puerta} = 5 \text{ m}^2.$$

$$A_1 = 34.7 \text{ m}^2.$$

$$A_2 = 39.7 \text{ m}^2.$$

$$A_3 = 7.4 \text{ m}^2.$$

$$A_3 = A_4.$$

$$A_5 = 35 \text{ m}^2.$$

$$A_5 = A_6.$$

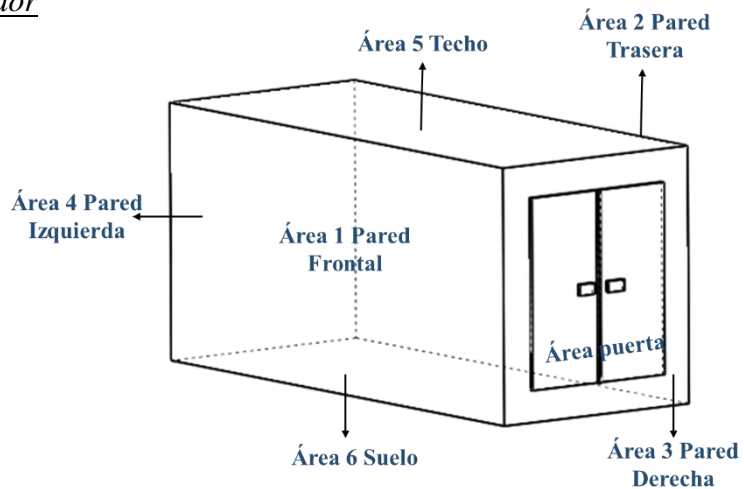


Figura 5.2 Diseño del contenedor y estructura de las Área (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

Los contenedores están fabricados de aluminio o acero inoxidable, por cuestiones económicas es más viable hacerlo de aluminio ya que tiene un menor costo y es más ligero para el transporte. El suelo comúnmente está fabricado en madera, incorporando un recubrimiento interior anti-humedad, que evite los daños en la madera.

La ganancia de calor a través de las paredes del contenedor será analizada por cada parte que lo compone: muros, piso, techo y puerta, en este diseño se analizará cada carga térmica de acuerdo al lugar establecido.

### 5.2 Materiales de construcción

De acuerdo al uso rudo del transporte ferroviario se seleccionaron los materiales para su construcción, que resistan tanto la velocidad a la que viaja el tren (160 km/h), como la cantidad de producto que se desea almacenar.

En la tabla 5.2 se muestran las propiedades de los materiales propuestos para la construcción del contenedor.

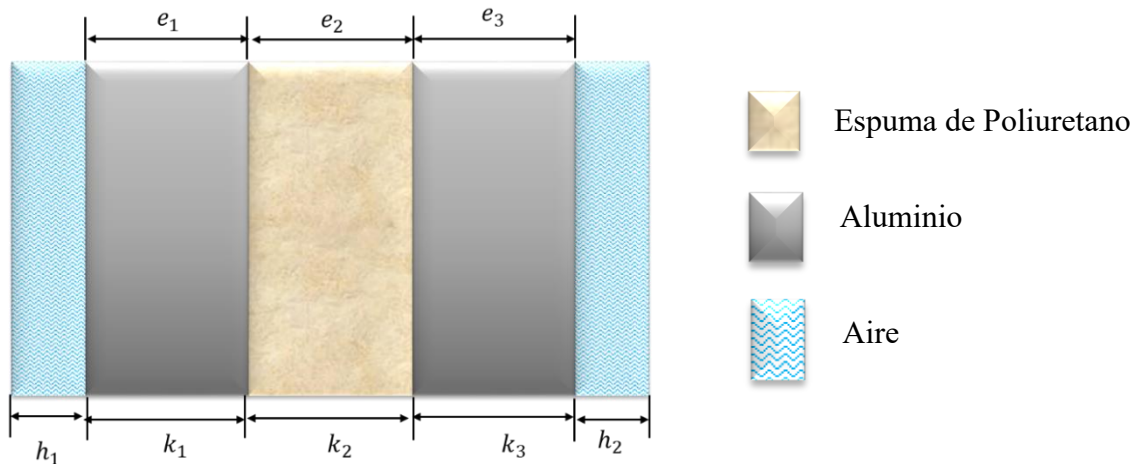
*Tabla 5.2 Materiales, espesores y conductividad térmica.*

Material	Espesor (m)	Conductividad $\left(\frac{W}{mK}\right)$
Aluminio.	0.0030	152
Espuma de poliuretano.	0.0762	0.28
Madera.	0.0508	0.12

#### 5.2.1 Diseño de la estructura de los muros.

##### Paredes externas, puerta y techo del contenedor.

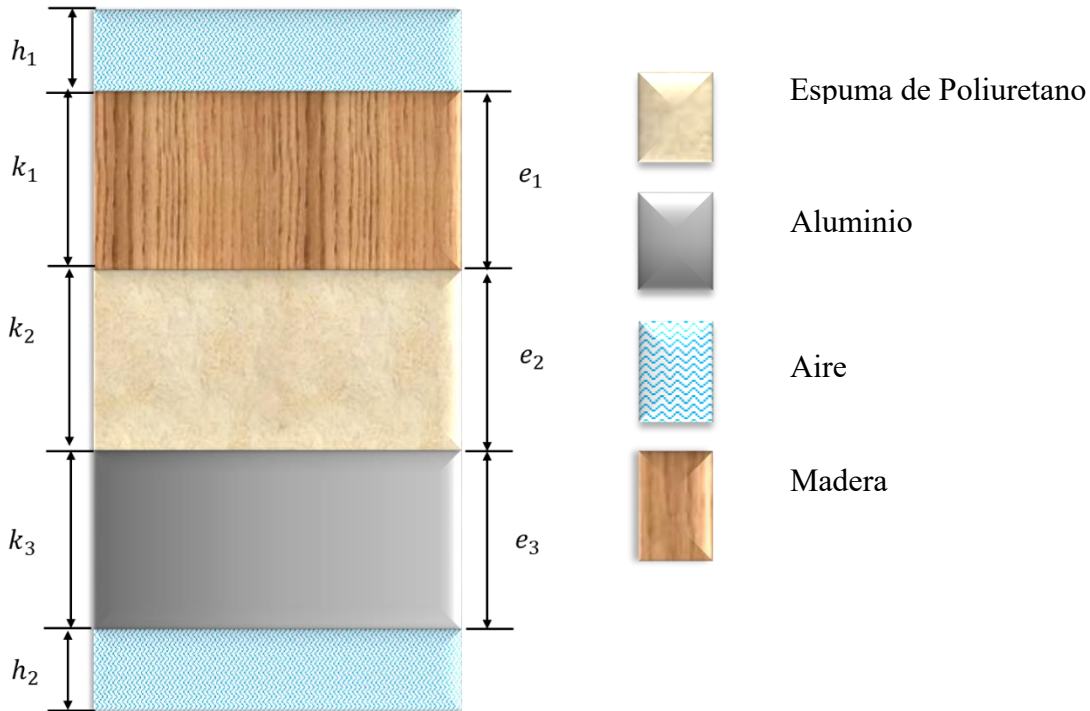
En la figura 5.8 se muestra un bosquejo de la composición de las paredes del contenedor refrigerado.



*Figura 5.3 Diseño de los muros (Elaboración propia).*

### Piso del contenedor.

El piso del contenedor está compuesto de madera en el interior, aluminio en el exterior y el aislante térmico, en la figura 5.8 se muestra la estructura del mismo.

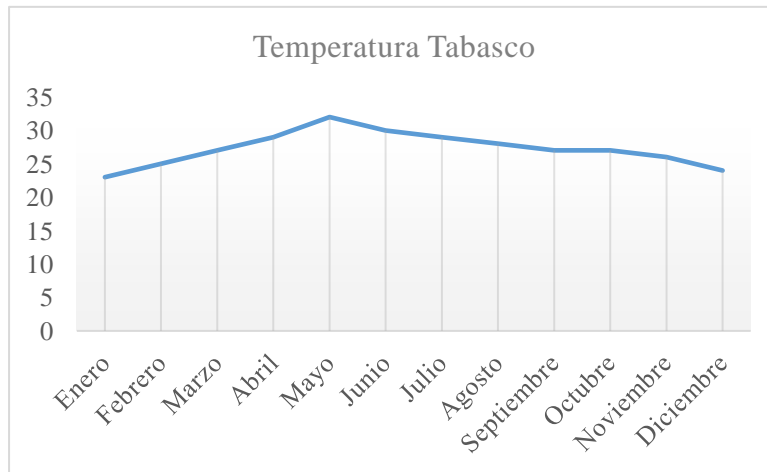


*Figura 5.4 Diseño del piso (Elaboración propia).*

### **5.3 Gráficas de Temperatura a lo largo de la ruta del tren Maya.**

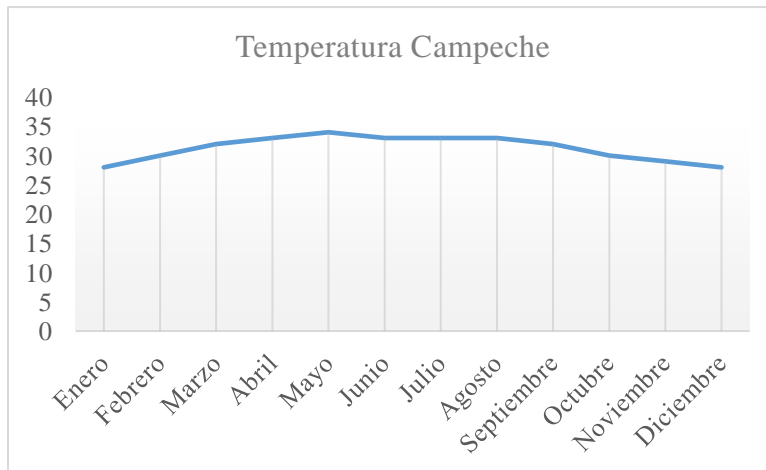
Para el cálculo de las cargas térmicas es necesario considerar las condiciones ambientales a lo largo de la ruta, en las gráficas siguientes se muestra el resultado obtenido de la temperatura promedio a lo largo de 5 años, con la finalidad de garantizar el buen funcionamiento del contenedor frigorífico durante toda la ruta, las cuales se presentan en las siguientes páginas.

**Tabasco**



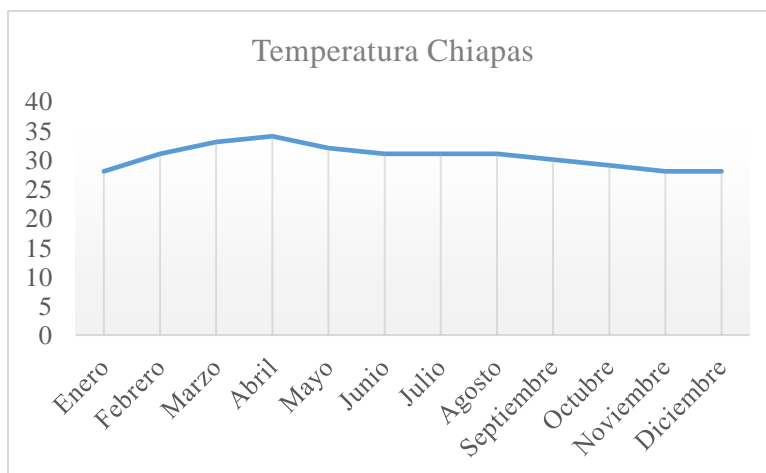
**Figura 5.5** Temperatura a lo largo del año Tabasco (NASA, 2022).

**Campeche.**



**Figura 5.6** Temperatura a lo largo del año Campeche (NASA, 2022).

**Chiapas.**



**Figura 5.7** Temperatura a lo largo del año Chiapas (NASA, 2022).

### Yucatán.

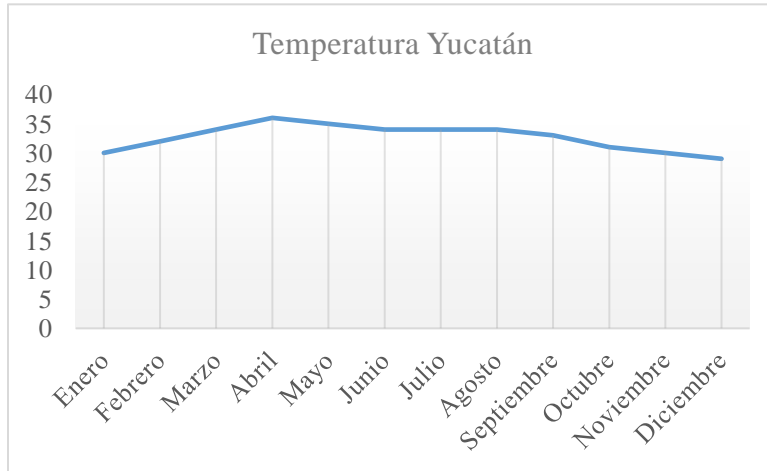


Figura 5.8 Temperatura a lo largo del año Yucatán (NASA, 2022).

### Quintana Roo.

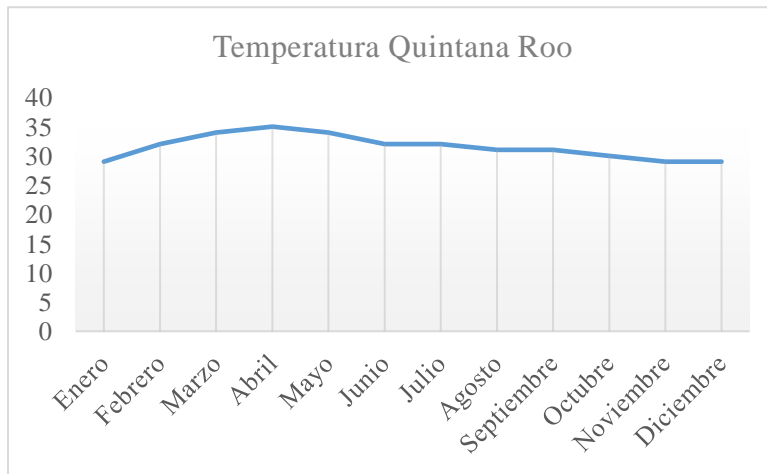


Figura 5.9 Temperatura a lo largo del año Quintana Roo (NASA, 2022).

## 5.4 Cargas térmicas

En el capítulo 4 se explicó a detalle cada una de las fórmulas necesarias para el cálculo de las cargas térmicas, el cálculo se realiza para cada uno de los estados que comprenden la ruta propuesta por el Tren Maya y a lo largo del año, en el apartado 5.3 se pueden observar las gráficas de las temperaturas de los distintos lugares mensualmente, las cuales es importante considerar para los cálculos.

Para cada una de ellas se mostrarán tablas de las cargas térmicas por separado, así como de las cargas térmicas totales por producto, se calculó primero el coeficiente global de transferencia de calor.

En el cálculo de la carga térmica a través de los muros es importante considerar el coeficiente global de transferencia de calor, mismo que se calcula como se muestra a continuación.

$$U_{Paredes} = \frac{1}{\frac{1}{217} + \frac{0.003}{152} + \frac{0.076}{0.028} + \frac{0.003}{152} + \frac{1}{10}} = 0.36 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$U_{piso} = \frac{1}{\frac{1}{217} + \frac{0.003}{152} + \frac{0.076}{0.028} + \frac{0.0508}{0.12} + \frac{1}{10}} = 0.31 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se considera el coeficiente convectivo exterior de  $217 W/m^2$  debido a la velocidad del viento a la que viaja el tren la cual es de  $44.4 m/s$  por lo mismo se considera una convección externa forzada, el coeficiente convectivo interior es de  $10 W/m^2$ , considerándolo como convección natural tomando en cuenta la velocidad del aire en el interior de la cámara de  $5 m/s$ , del mismo modo es importante considerar el espesor y conductividad térmica mostrados en la tabla 5.1 de los materiales de construcción

Para el cálculo de la ganancia de calor generada por el producto es importante considerar cada uno de los 4 diferentes cárnicos a transportar en contenedores distintos, los cuales son: cerdo, pollo, bovino y pescado, para este cálculo se considera el calor específico de cada uno de ellos y las temperaturas tanto de entrada del producto, en el interior el contenedor frigorífico, en las temperaturas de entrada se consideró la temperatura de preenfriamiento de la carne durante el sacrificio, para este contenedor se toma en cuenta un tiempo de 5 horas que será el tiempo que tardará la carne en enfriarse debido a la masa.

El calor cedido por cada producto se calcula de la siguiente forma, para la carne de cerdo se tiene:

$$Q_{producto} = \left( \frac{13680 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 2721.42 \frac{J}{\text{Kg}^{\circ}C} \right) (12^{\circ}C) = \mathbf{24819.35 W}$$

Para el calor cedido por la carne de ave se tiene:

$$Q_{producto} = \left( \frac{12925 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 3014.5 \frac{J}{\text{Kg}^{\circ}C} \right) (12^{\circ}C) = \mathbf{25974.94 W}$$

Para el calor cedido por la carne de bovino se tiene lo siguiente:

$$Q_{producto} = \left( \frac{19296 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 3014.5 \frac{J}{\text{Kg}^{\circ}C} \right) (12^{\circ}C) = \mathbf{38778.5 W}$$

Para el calor cedido por la carne de pescado se tiene:

a) *Pescado*

$$Q_{producto} = \left( \frac{3500 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 3433.18 \frac{J}{\text{Kg}^{\circ}C} \right) (12^{\circ}C) = \mathbf{8010.75 W}$$

b) *Pulpo*

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

---

$$Q_{producto} = \left( \frac{3500 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 3433.18 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (12^\circ\text{C}) = \mathbf{8010.75 \text{ W}}$$

c) *Langosta*

$$Q_{producto} = \left( \frac{3500 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 3516.91 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (12^\circ\text{C}) = \mathbf{8210.12 \text{ W}}$$

d) *Camarón*

$$Q_{producto} = \left( \frac{3500 \text{ Kg}}{18000 \text{ seg}} \right) \left( 3331.91 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (12^\circ\text{C}) = \mathbf{7913.05 \text{ W}}$$

Para el calor total del pescado se hace la suma de cada uno de los productos marinos a transportar y se obtiene:

$$Q_{producto} = 8010.75 \text{ W} + 8010.75 \text{ W} + 8210.12 \text{ W} + 7913.05 \text{ W} = \mathbf{32144.67 \text{ W}}$$

El  $C_p$  de cada uno de los productos se encuentra establecido en el capítulo 1.

Para el cálculo de la ganancia de calor por infiltración, las condiciones interiores que se tomaron en cuenta la temperatura de bulbo seco de acuerdo a las gráficas mostradas anteriormente y la humedad relativa en el interior de 90% de acuerdo a las condiciones de los productos a conservar, para las condiciones exteriores se tomó en cuenta la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, para este caso se utiliza un factor de uso, el cual se considera de 2 de uso pesado, ya que el contenedor no va a estar abriendo sus puertas constantemente.

$$Q_{inf} = Q_{ext} + Q_{int} \quad (20)$$

La carga del alumbrado es importante no despreciarla, porque la carga térmica en un lugar cerrado, genera una carga térmica importante para el equipo.

$$Q = 4 \text{ lamp.} * 23 \text{ W} = \mathbf{92 \text{ W}} \quad (21)$$

Para el cálculo de esta carga térmica se seleccionaron lámparas fluorescentes ya que son las que menos calor transfieren por ello se le extrae poco calor, cada lámpara es de 23 watts, tipo T8 fluorescentes cada una y de acuerdo a los metros que tiene el contenedor se ocuparan 4 lámparas para generar una adecuada iluminación en el interior.

El cálculo de la carga térmica generada por los ocupantes se desprecia, ya que este contenedor esta únicamente diseñado para el transporte y cuando este sea descargado el sistema de refrigeración estará apagado y por ello esta carga térmica es despreciada.

$$Q = (\text{No. de persona})(\text{Calor disipado por persona}) \quad (22)$$

Y finalmente se realiza la ganancia de calor generada por el efecto solar, la cámara se encontrará expuesta al sol por un largo tiempo, la ecuación para calcular la carga térmica por efecto solar es:

$$(23)$$



$$Q_{ES} = AU\Delta T' \quad (24)$$

$\Delta T'$  se conoce como la diferencia de temperatura corregida por efecto solar y se calcula con el siguiente modelo matemático:

$$\Delta T' = T1' - T2 = T'_{Corregida} - T_{interior}$$

$$T1' = T'_{Corregida} = T_{exterior} + \Delta T$$

A continuación, se mostrarán las tablas de las cargas térmicas de cada uno de los estados y de cada uno de los meses del año, así como las cargas térmicas finales

### 5.5 Medidas y peso que llevará el contenedor para cada alimento.

#### a) Pollo

El pollo será transportado en cajas con rejillas como las que se muestran en la figura 5.10, las dimensiones de la caja se observan en la tabla 5.3.

**Tabla 5.3** Dimensiones de la caja (Martínez, 2019).

Caja	Dimensiones		
	Largo	0.6	m
	Alto	0.21	m
	Ancho	0.4	m
	Peso	8.82	Kg



**Figura 5.10** Caja con rejillas para pollos.

Se considera que cada pollo pesara aproximadamente 2.72 kg por lo tanto en cada caja caben 3 pollos, tomando en cuenta las dimensiones del contenedor (ver tabla 5.3) dentro del mismo caben aproximadamente 1584 cajas, realizando los cálculos necesarios se tiene que el contenedor cargara 12925.44 kg de pollo, esto se considera para el cálculo de carga térmica por producto.

### b) Cerdo

Para el cálculo del peso del contenedor de cerdos, se consideraron las dimensiones de un cerdo promedio (ver tabla 5.4).

*Tabla 5.4 Dimensiones y peso del cerdo (Pérez, 2020).*

Dimensiones		
<i>Alto</i>	0.72	<i>m</i>
<i>Largo</i>	1.35	<i>m</i>
<i>Ancho</i>	0.27	<i>m</i>
<i>Peso</i>	95	<i>Kg</i>

Para este caso los cerdos se encontrarán colgados para su transporte, realizando los cálculos necesarios dentro el contenedor caben aproximadamente 144 cerdos de estas dimensiones y este peso específicamente, por lo tanto, se tiene que el peso que llevara el contenedor de este producto es de 13680 kg.

### c) Bovino

Para conocer cuántas reses y el peso que llevará el contenedor se ocupó la misma técnica que para el cerdo en la tabla 5.5 se muestran las dimensiones de una res promedio.

*Tabla 5.5 Dimensiones y peso de la res (Salgado, 2020).*

Dimensiones		
<i>Largo</i>	2.8	<i>m</i>
<i>Alto</i>	0.8	<i>m</i>
<i>Ancho</i>	0.65	<i>m</i>
<i>Peso</i>	402	<i>Kg</i>

Considerando las dimensiones del contenedor las medidas y peso de estos animales, así como haciendo los cálculos pertinentes se obtiene que dentro de la cámara caben apropiadamente 48 reses con estas medidas y este peso, por lo tanto, la cámara llevara un peso de 19296 kg.

### d) Peces y mariscos.

Para este apartado se pueden mezclar los productos puesto que todos son de la misma especie, dentro de este se transportará pescado, pulpo y langosta los cuales irán en cajas como los pollos, de acuerdo a que los peces varían sus dimensiones y pesos y son muy pequeños y por cuidados de extinción de las especies, se le asignaron 50 kg de cada uno de estos para el contenedor lo cual hace un total de 20,000 kg que llevará el contenedor de estos productos.

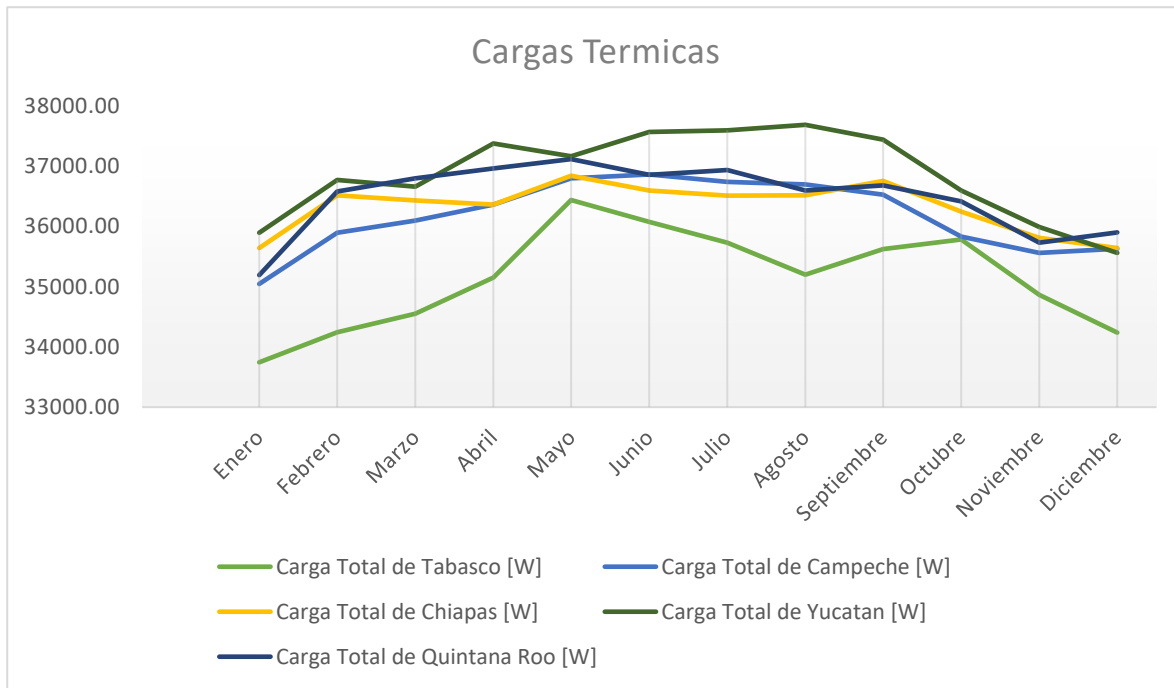
## 5.6 Cargas térmicas totales.

En las tablas y graficas que se muestran a continuación se observan los resultados de las cargas térmicas totales para cada uno de los estados propuestos por la ruta del Tren Maya las cuales son: a través de los muros, por cada uno de los cárnicos a transportar, por infiltración, por alumbrado, por efecto solar y por equipo, en el anexo 2 se muestran las tablas de cada una de las cargas térmicas calculadas.

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

**Tabla 5.6** Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de ave (Elaboración propia).

Cargas Térmicas Totales de Carne de Ave					
Meses	Carga Total de Tabasco [W]	Carga Total de Campeche [W]	Carga Total de Chiapas [W]	Carga Total de Yucatán [W]	Carga Total de Quintana Roo [W]
Enero	33744.29	35046.23	35642.30	35897.72	35193.02
Febrero	34241.30	35897.72	36516.27	36772.83	36582.29
Marzo	34552.64	36097.46	36433.32	36664.22	36798.09
Abril	35153.73	36363.48	36361.81	37381.05	36965.33
Mayo	36439.88	36798.09	36843.49	37168.63	37119.48
Junio	36077.92	36864.77	36599.51	37569.71	36856.07
Julio	35732.38	36742.89	36512.49	37595.84	36939.31
Agosto	35200.69	36700.14	36516.27	37689.35	36596.68
Septiembre	35627.47	36527.74	36759.15	37440.97	36680.86
Octubre	35783.35	35833.11	36248.14	36599.51	36418.54
Noviembre	34866.06	35562.08	35812.61	35992.77	35732.38
Diciembre	34237.36	35631.41	35642.30	35562.08	35902.69

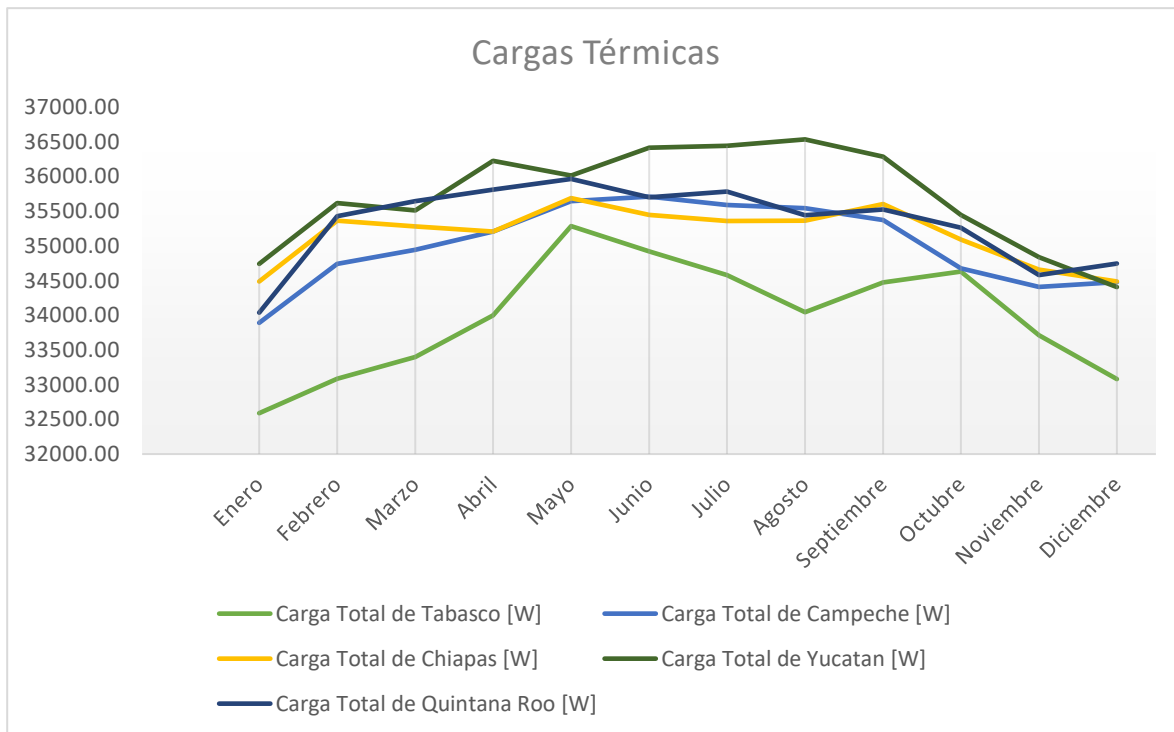


**Figura 5.11** Cargas térmicas para la carne de ave (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

**Tabla 5.7** Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de cerdo (Elaboración propia).

Cargas Térmicas Totales de Carne de Cerdo					
Meses	Carga Total de Tabasco [W]	Carga Total de Campeche [W]	Carga Total de Chiapas [W]	Carga Total de Yucatán [W]	Carga Total de Quintana Roo [W]
Enero	32588.70	33890.64	34486.71	34742.13	34037.43
Febrero	33085.71	34742.13	35360.68	35617.24	35426.70
Marzo	33397.05	34941.87	35277.73	35508.63	35642.50
Abril	33998.14	35207.89	35206.22	36225.46	35809.74
Mayo	35284.29	35642.50	35687.90	36013.04	35963.89
Junio	34922.33	35709.18	35443.92	36414.12	35700.48
Julio	34576.79	35587.30	35356.90	36440.25	35783.72
Agosto	34045.10	35544.55	35360.68	36533.76	35441.08
Septiembre	34471.88	35372.15	35603.56	36285.38	35525.27
Octubre	34627.76	34677.52	35092.55	35443.92	35262.95
Noviembre	33710.47	34406.49	34657.02	34837.18	34576.79
Diciembre	33081.77	34475.82	34486.71	34406.49	34747.10

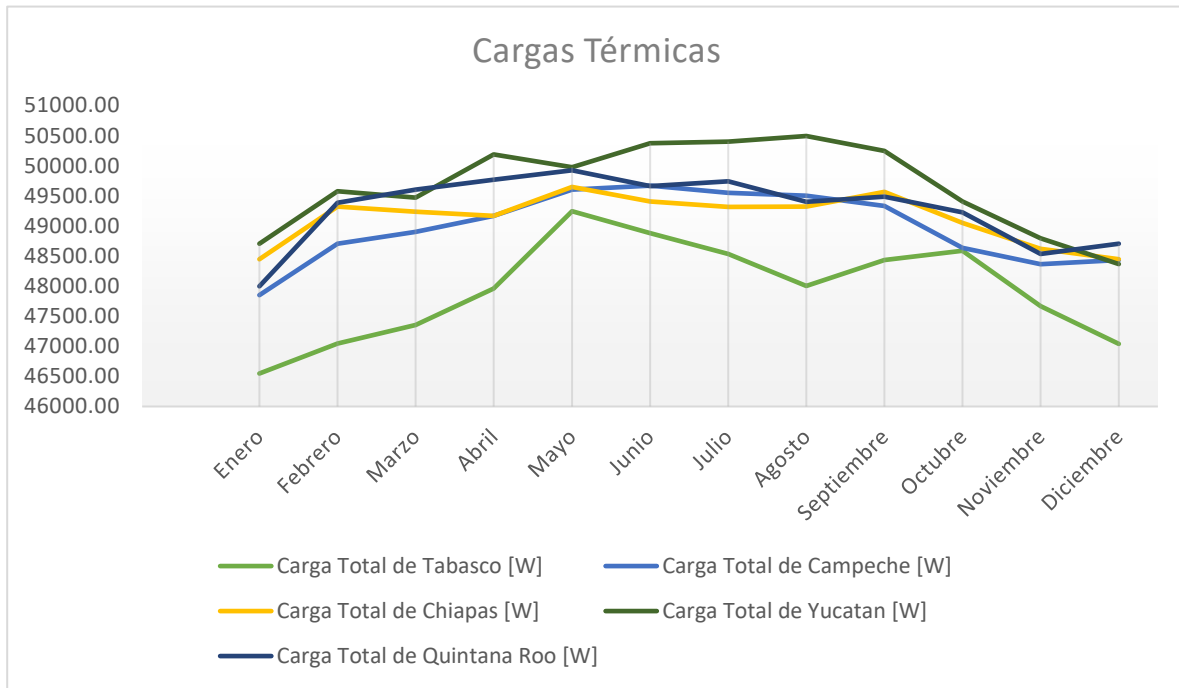


**Figura 5.12** Cargas térmicas para la carne de cerdo (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

**Tabla 5.8** Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de bovino (Elaboración propia).

Cargas Térmicas Totales de Carne de Bovino					
Meses	Carga Total de Tabasco [W]	Carga Total de Campeche [W]	Carga Total de Chiapas [W]	Carga Total de Yucatán [W]	Carga Total de Quintana Roo [W]
Enero	46547.87	47849.82	48445.89	48701.30	47996.61
Febrero	47044.89	48701.30	49319.86	49576.42	49385.87
Marzo	47356.22	48901.05	49236.91	49467.80	49601.68
Abril	47957.32	49167.07	49165.40	50184.64	49768.92
Mayo	49243.46	49601.68	49647.08	49972.22	49923.06
Junio	48881.51	49668.35	49403.10	50373.29	49659.66
Julio	48535.97	49546.47	49316.08	50399.43	49742.90
Agosto	48004.28	49503.72	49319.86	50492.94	49400.26
Septiembre	48431.06	49331.33	49562.74	50244.56	49484.45
Octubre	48586.93	48636.70	49051.73	49403.10	49222.12
Noviembre	47669.65	48365.66	48616.19	48796.36	48535.97
Diciembre	47040.95	48435.00	48445.89	48365.66	48706.28

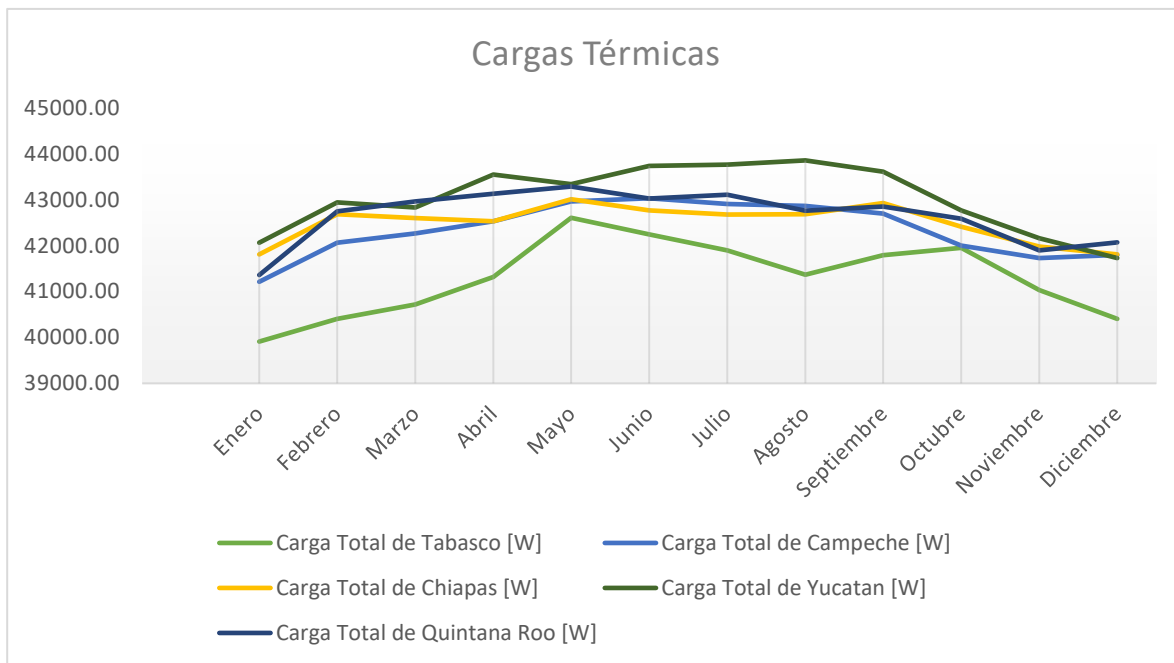


**Figura 5.13** Cargas térmicas para la carne de bovino (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

**Tabla 5.9** Cargas térmicas totales de los diferentes estados para la carne de pescado (Elaboración propia).

Cargas Térmicas Totales de Carne de Pescado					
Meses	Carga Total de Tabasco [W]	Carga Total de Campeche [W]	Carga Total de Chiapas [W]	Carga Total de Yucatán [W]	Carga Total de Quintana Roo [W]
Enero	39910.04	41211.98	41808.05	42063.47	41358.77
Febrero	40407.05	42063.47	42682.02	42938.58	42748.04
Marzo	40718.39	42263.21	42599.07	42829.97	42963.84
Abril	41319.48	42529.23	42527.56	43546.80	43131.08
Mayo	42605.63	42963.84	43009.24	43334.38	43285.23
Junio	42243.67	43030.52	42765.26	43735.46	43021.82
Julio	41898.13	42908.64	42678.24	43761.59	43105.06
Agosto	41366.44	42865.89	42682.02	43855.10	42762.42
Septiembre	41793.22	42693.49	42924.90	43606.72	42846.61
Octubre	41949.10	41998.86	42413.89	42765.26	42584.29
Noviembre	41031.81	41727.83	41978.36	42158.52	41898.13
Diciembre	40403.11	41797.16	41808.05	41727.83	42068.44



**Figura 5.14** Cargas térmicas para la carne de pescado (Elaboración propia).

En las gráficas y tablas anteriores se observa que la mayor carga térmica para todos los estados y para todos los productos se tiene en el mes de Mayo esto debido a que es el mes donde se tienen las condiciones climáticas más extremas.

### 5.7 Estados termodinámicos

Para la determinación de los estados termodinámicos, se tomó en cuenta la temperatura a la que se desea tener el contenedor, poniendo unos grados por debajo para evitar fallas durante el transporte, posteriormente se tomó en cuenta la temperatura promedio exterior, así mismo se consideró una temperatura por encima de la temperatura ambiente, debido a la variación de temperaturas, evitando que exista un descontrol en la temperatura del contenedor y que de paso a la proliferación de microorganismos.

A continuación, se muestran los estados termodinámicos del ciclo de refrigeración simple.

Se tiene que el sistema simple de refrigeración se le aplicaron los siguientes parámetros:

- Refrigerante: 152a
- Temperatura de condensación: 49°C
- Temperatura de vaporización: -8C

**Tabla 5.10** Estados termodinámicos (Elaboración propia).

Estado	T°C	P(KPa)	h(KJ/Kg)	s(KJ/kg k)	Fase
1	-8	196.14	501.56	0.5107	Vapor saturado
2	49	909.26	543.54	0.5107	Vapor sobre-calentado
3	40	909.26	271.35		Líquido saturado
4	-8	196.14	271.35		mezcla

#### 5.7.1 Cálculos del ciclo de refrigeración

Con los datos de temperatura y presión obtenidos en los estados termodinámicos con refrigerante 152a

Entonces una vez obtenidos los datos de los estados, se calcula el ciclo de refrigeración.

Para ello de los cálculos obtenidos de las cargas térmicas se toma en cuenta la carga térmica total, la cual se obtuvo de los cálculos anteriores y de acuerdo a la carga térmica mayor para cada contenedor se obtiene que el  $Q_L$

Cálculo del flujo másico del refrigerante.

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (26)$$

De acuerdo a esa fórmula se despeja el flujo másico, dado que el  $Q_L$  ya se conoce, entonces se obtiene:

$$\dot{m} = \frac{Q_L}{(h_1 - h_4)} \quad (27)$$

Cálculo del calor transferido

$$Q_H = Q_L + W \quad (28)$$

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

### Cálculo de la potencia del compresor

La potencia del compresor es la cantidad de energía que puede generar un compresor y se expresa con la sigla HP (*horse power*).

$$W = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (29)$$

### Cálculo del COP

El coeficiente de rendimiento (**COP**) es una expresión de la eficiencia de una bomba de calor, que se obtiene de la siguiente manera:

$$COP = \frac{Q_L}{W} \quad (30)$$

*Tabla 5.11 Resultados del ciclo de refrigeración (Elaboración propia).*

	<i>Ave</i>	<i>Cerdo</i>	<i>Bovino</i>	<i>Pescado</i>
<i>Flujo másico (Kg/s)</i>	0.16	0.156	0.22	0.19
<i>Potencia del compresor [KW]</i>	6.78	6.57	9.11	8.00
<i>QH [KW]</i>	43.95	42.58	59.08	51.85
<i>QL [KW]</i>	37.17	36.01	49.97	43.85
<i>COP</i>	5.48	5.48	5.48	5.48

El valor del COP que se obtiene fue de 5.48 y se considera viable en un sistema simple de compresión a vapor [9]. Sin embargo, no es el valor más eficiente, debido a que el sistema se sobre calienta mucho, por las condiciones climáticas de la ruta del tren Maya.

## 5.8 Evaluación Energética

### 5.8.1 Cálculo de la energía suministrada por los paneles

De acuerdo a los cálculos realizados se tiene que la irradiación promedio es de 5.25 KWh, a partir de este dato se obtiene el recurso solar

$$R.S = \frac{5.25 \text{ KWh}}{1 \text{ KW}} = 5.25 \text{ h}$$

Mediante la potencia del panel solar y el recurso solar obtenido se calcula la energía suministrada al día por un panel:

$$E.S.D = 540 \text{ W} * 5.25 \text{ h} = 2835 \text{ Wh}$$

Se consideró el largo y el ancho del contenedor para proponer el panel solar a utilizar en el sistema, con el objetivo de cubrir la mayor parte del techo del contenedor, donde se instalarán los mismos, debido a que el contenedor estará la mayor parte del tiempo en movimiento no es necesario darles un ángulo de inclinación a los paneles, por ello estarán completamente fijos al techo del contenedor. Del cálculo realizado con la comparativa del



## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

dimensionamiento del contenedor y del panel se obtiene que en el techo caben 12 paneles solares, de los cuales se obtiene la energía suministrada total como se muestra a continuación:

$$E.S.T = 2.385 \text{ KWh} * 12 = \mathbf{34.02 \text{ KWh}}$$

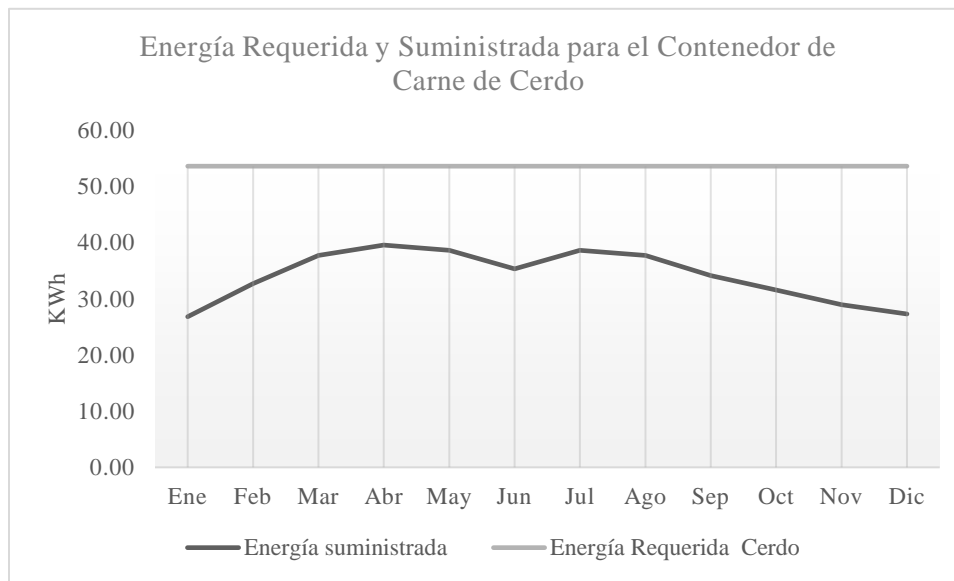
De las distintas potencias obtenidas por los compresores mostradas en la tabla 5.13 y con la energía suministrada total se obtienen las horas que se abastecerá el sistema fotovoltaico de energía, mostrada en la tabla 5.12

**Tabla 5.12** Horas de abastecimiento del sistema fotovoltaico al sistema de refrigeración (Elaboración propia).

Contenedor	Potencia Requerida por el compresor (KW)	Horas de abastecimiento
Cerdo	6.57	5.18
Bovino	9.11	3.73
Ave	6.78	5.02
Pescado	8	4.25

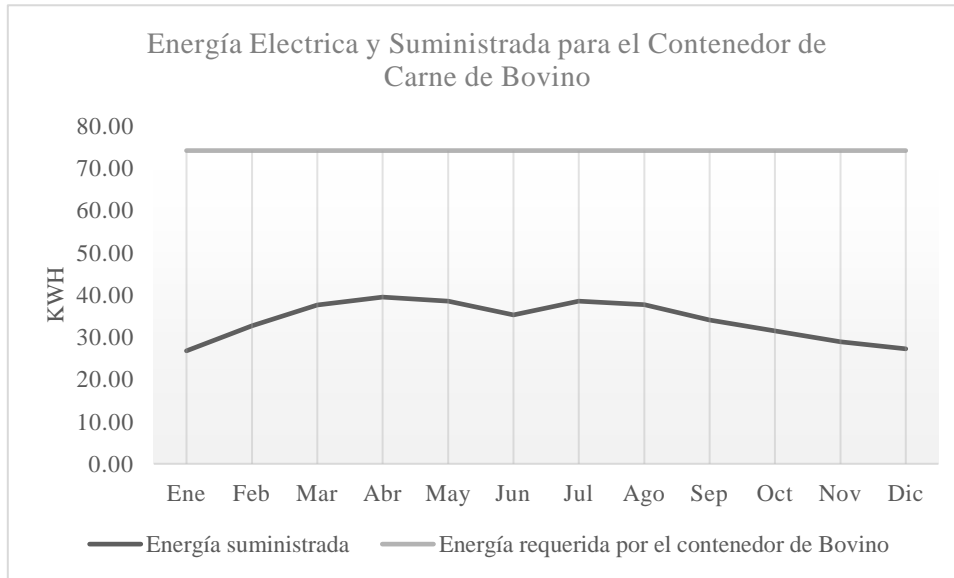
### 5.8.2 Comparativa de la energía requerida y la energía suministrada

Se realiza una comparación de la energía eléctrica suministrada y la energía eléctrica requerida las cuales se muestran en las gráficas siguientes

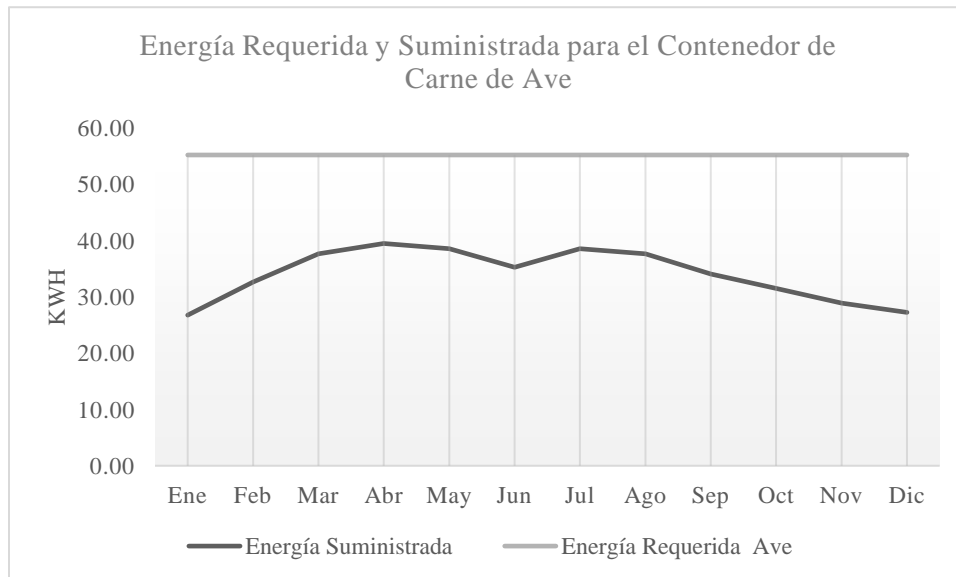


**Figura 5.15** Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Cerdo (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

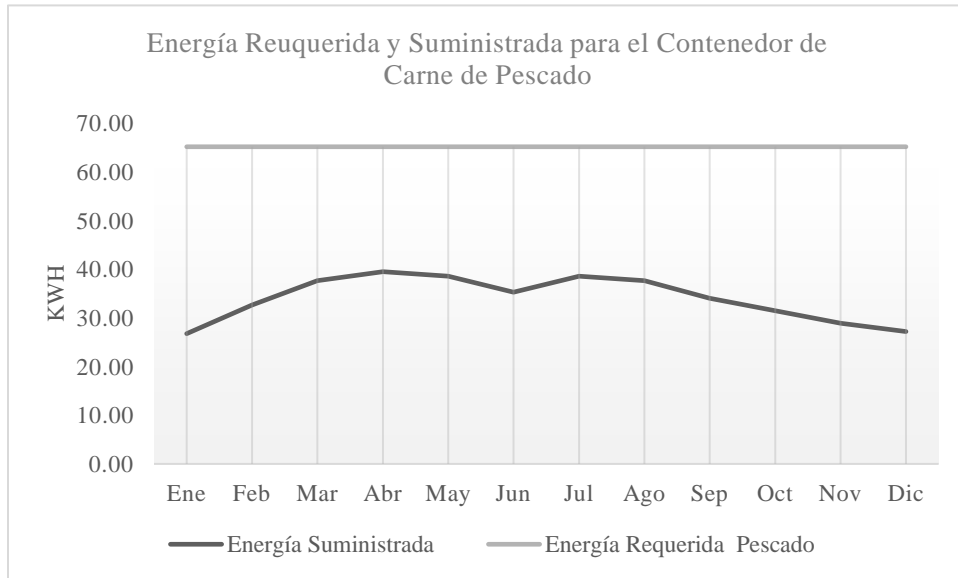


**Figura 5.16** Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Bovino (Elaboración propia).



**Figura 5.17** Energía Requerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Ave (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado



**Figura 5.18** Energía Reuquerida y Suministrada para el Contenedor de Carne de Pescado (Elaboración propia).

### 5.8.3 Cálculo del número de baterías.

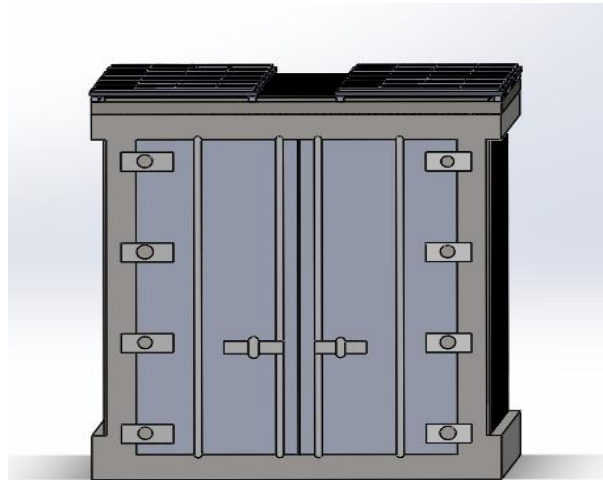
El número de baterías para almacenar la energía suministrada por los doce paneles se muestra en la tabla 5.13.

**Tabla 5.13** Baterías requeridas para el almacenamiento de energía generada por el arreglo fotovoltaico (Elaboración propia).

Baterías	
Consumo almacenado (Ah)	1232.32
Consumo de la batería (Ah)	2094.6114
Número de baterías	4

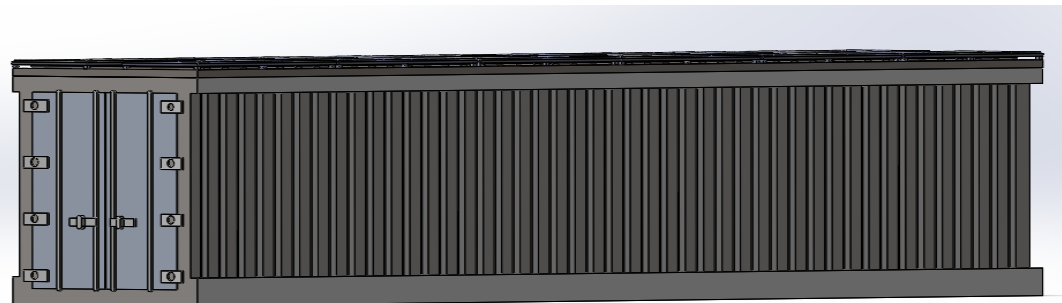
### 5.9 Dibujo en CAD.

El dibujo en CAD se realizó a partir de la propuesta de diseño mostrada en este capítulo, tomando en cuenta las dimensiones y los materiales de construcción la figura 5.19 se observa la cara frontal del contenedor, donde se observa una propuesta en el diseño de la puerta.



**Figura 5.19** Cara Frontal del Contenedor (Elaboración propia).

En la figura 5.20 se muestra la cara lateral del contenedor, con las dimensiones propuestas en el en la tabla 5.1.



**Figura 5.20** Vista lateral (Elaboración propia).

En la figura 5.21 se observa el techo del contenedor con la instalación de los paneles fotovoltaicos, como se muestra en la figura se colocarán 12 paneles distribuidos a lo largo del mismo.

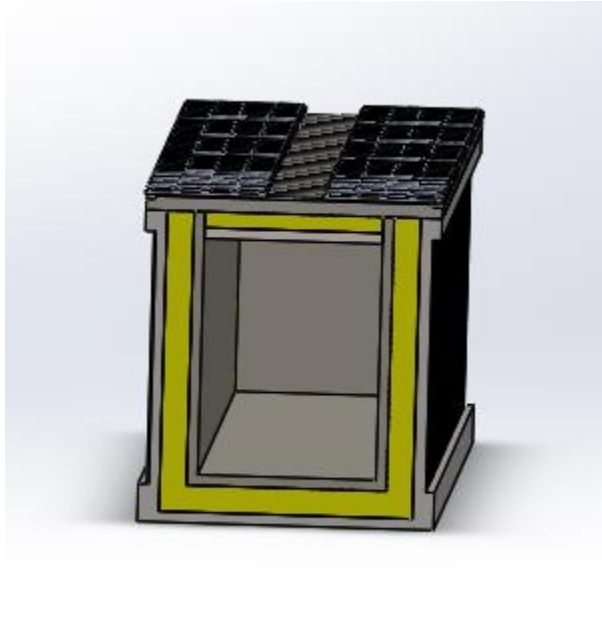


**Figura 5.21** Techo del contenedor (Elaboración propia).

## Capítulo 5. Implementación del contenedor refrigerado

---

La figura 5.22 muestra las paredes con los distintos materiales y espesores para su construcción, representando en el exterior e interior aluminio y en el centro el aislante espuma de poliuretano.



*Figura 5.22 Paredes de Espesor del contenedor (Elaboración propia).*

---

## CONCLUSIONES

El Tren Maya es un proyecto de gran impacto debido a que impulsará el crecimiento de la economía en el Sureste de México mediante el transporte de distintas mercancías y productos perecederos; como semillas, frutas, verduras, lácteos, cárnicos, entre otros. Para el traslado de estos productos se requieren de condiciones óptimas de conservación que permitan mantener sus propiedades organolépticas, por lo tanto, el diseño de contenedores refrigerados que se adapten a las características de la ruta del tren Maya es de gran importancia.

Para el diseño del contenedor se consideró el transporte de cuatro tipos de cárnicos, por su valor nutricional, alto consumo en México y costo de producción, se encontró que con una temperatura de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de 90% en el interior del contenedor se puede mantener la temperatura de conservación de la carne de ave, cerdo, bovino y pescados que se encuentra en un rango de  $-1$  a  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa de 85 a 90%.

En el análisis de las cargas térmicas totales se observó que tuvo mayor impacto es la de producto para todos los casos, la cual abarca el 70 % de esta, debido a que el contenedor transportará gran cantidad de producto, del mismo modo la carga térmica a través de los muros también resulta alta abarcando el 10 %, esto es debido a las condiciones extremas a lo largo de la ruta. En este análisis se consideraron las condiciones climáticas de los estados y no de cada lugar porque se observó que por cada estado se encuentran las temperaturas más altas, mientras que en el 20 % se encuentran el resto de las cargas térmicas que permitieron obtener un diseño óptimo del contenedor que mantiene los cárnicos en buenas condiciones a lo largo de la ruta. En el sistema de refrigeración se observa que se tiene un COP de 5.48, que resulta no ser el más eficiente debido a que se consideraron las condiciones climáticas extremas que se tienen en el Sureste de México.

El diseño del dimensionamiento se basó en la normatividad para contenedores refrigerados (ISO 668), debido al volumen que tienen los contenedores ocupan compresores de gran potencia, para este diseño se obtuvieron compresores de diversas capacidades: 6.78 KW para el contenedor de carne avícola, 6.57 KW para el de cerdo, 8.00 KW para el de pescados y 9.11 KW para carne de bovino, siendo el de mayor potencia debido a la masa a refrigerar.

Para el suministro de energía se propone la implementación de 12 paneles solares en el techo del contenedor que brindan 30.559 KWh de energía en un día, los cuales para ninguno de los casos satisfacen el 100% de la demanda de energía eléctrica, sin embargo, logra proporcionar un porcentaje de la energía requerida a lo largo de la ruta que se encuentra en un rango de 52% a 71% el cual varía de acuerdo al cárnico transportado ya que de este depende la potencia requerida por cada compresor.

Cabe mencionar que con la implementación de este sistema fotovoltaico se puede reducir más del 50% de combustible ocupado a lo largo de la ruta del Tren Maya, lo que también reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero.

# ANEXO 1 Graficas de Irradiación

## TABASCO

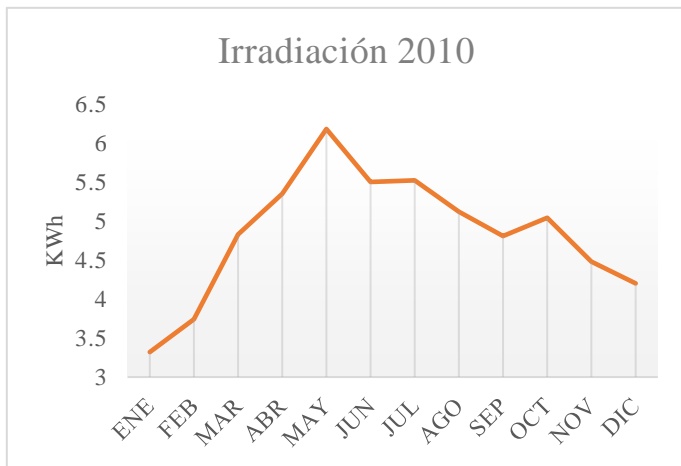


Figura A1.1 Irradiación Tabasco del año 2010 (NASA, 2022)

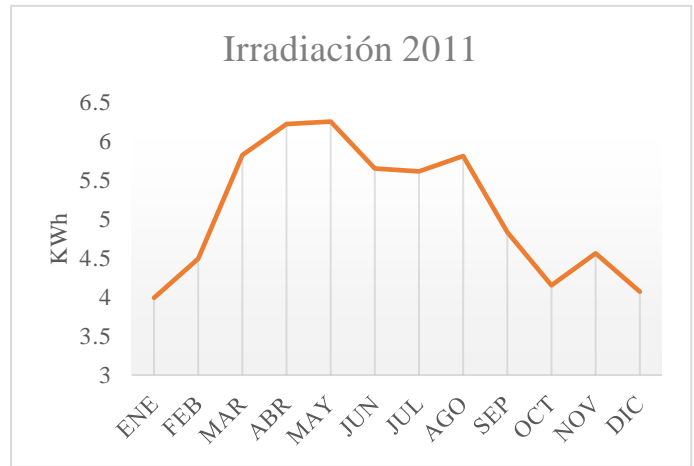


Figura A1.2 Irradiación Tabasco del año 2011 (NASA, 2022)

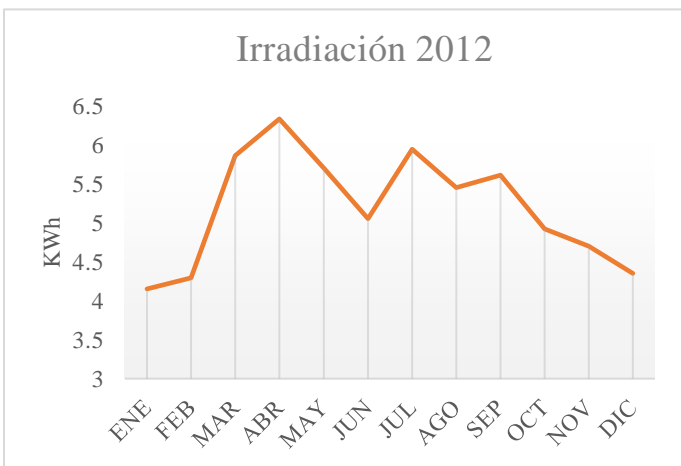


Figura A1.3 Irradiación Tabasco del año 2012 (NASA, 2022)

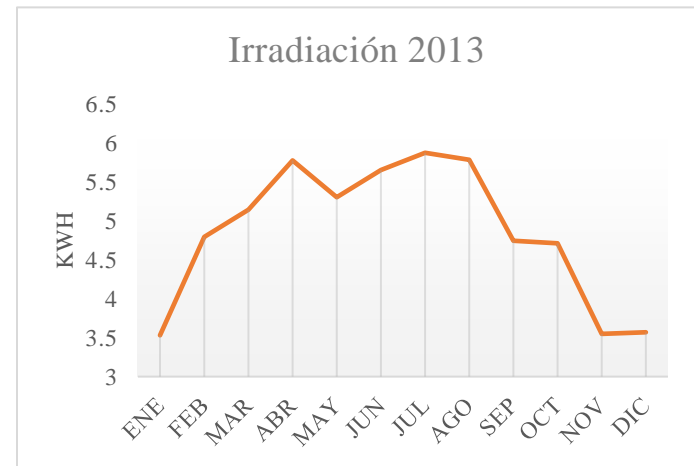
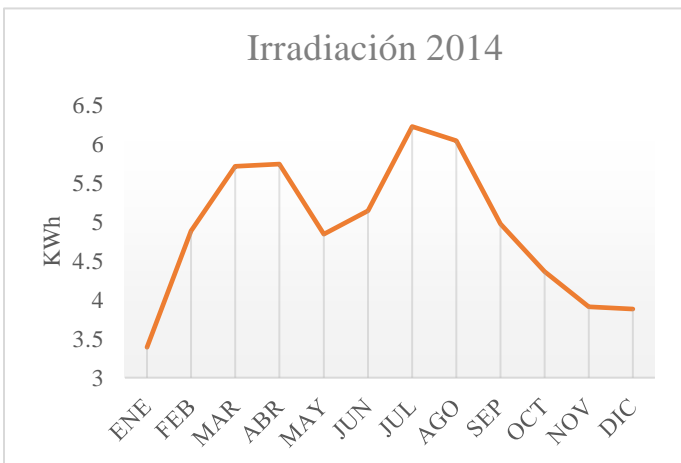
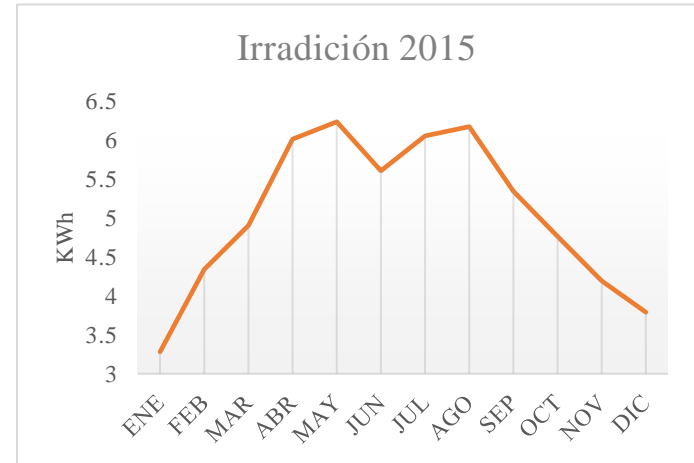


Figura A1.4 Irradiación Tabasco del año 2013 (NASA, 2022)



Gráfica A1.5 Irradiación Tabasco del año 2015 (NASA, 2022)



Gráfica A1.6 Irradiación Tabasco del año 2015 (NASA, 2022)

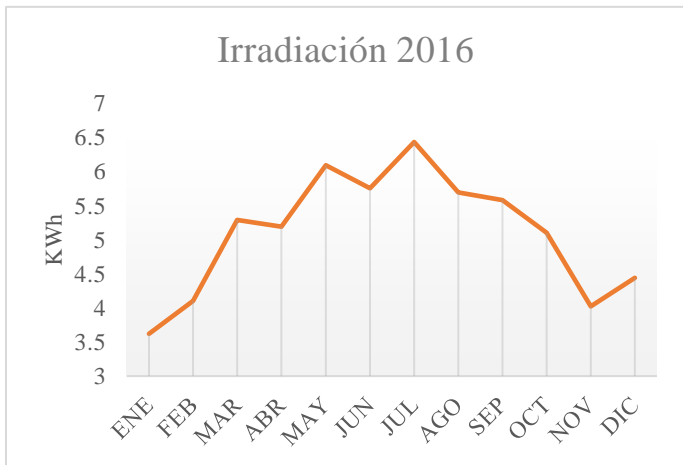


Figura A1.7 Irradiación Tabasco del año 2016 (NASA, 2022)



Figura A1.8 Irradiación Tabasco del año 2017 (NASA, 2022)

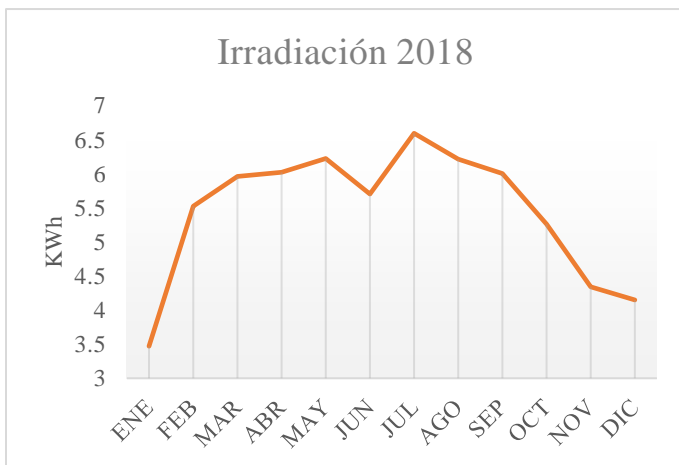


Figura A1.9 Irradiación Tabasco del año 2018 (NASA, 2022)

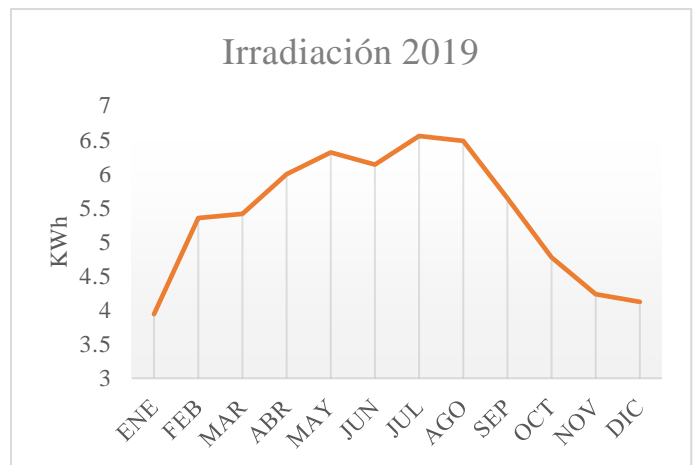


Figura A1.10 Irradiación Tabasco del año 2019 (NASA, 2022)

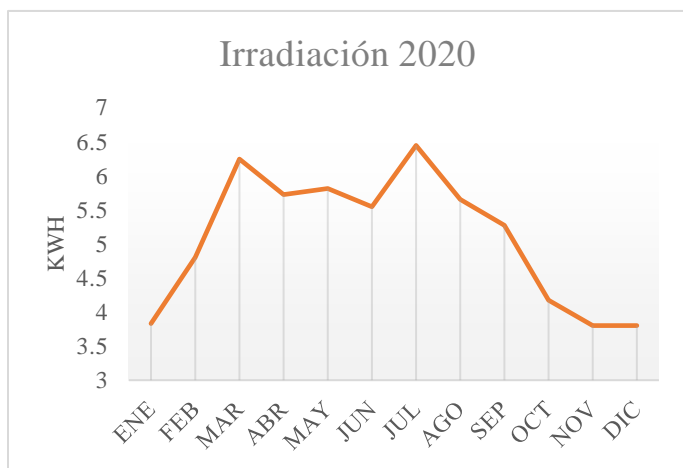


Figura A1.11 Irradiación Tabasco del año 2020 (NASA, 2022)



CHIAPAS

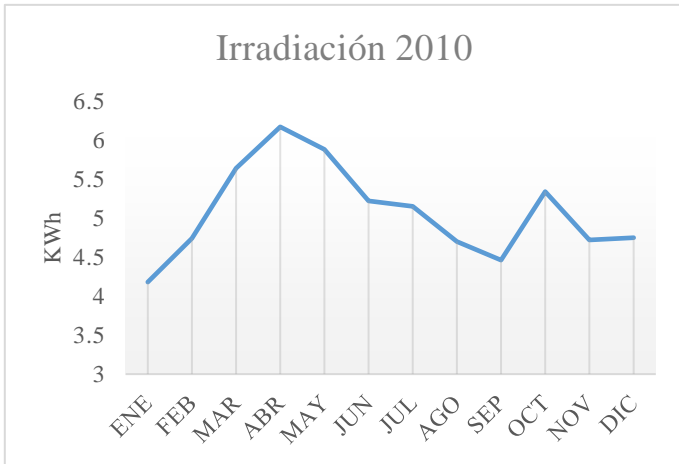


Figura A1.11 Irradiación Chiapas del año 2010 (NASA, 2022)

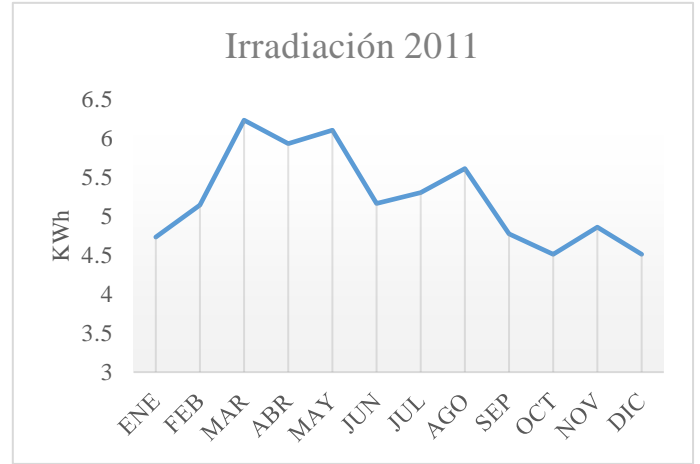


Figura A1.12 Irradiación Chiapas del año 2011 (NASA, 2022)



Figura A1.13 Irradiación Chiapas del año 2012 (NASA, 2022)



Figura A1.14 Irradiación Chiapas del año 2013 (NASA, 2022)

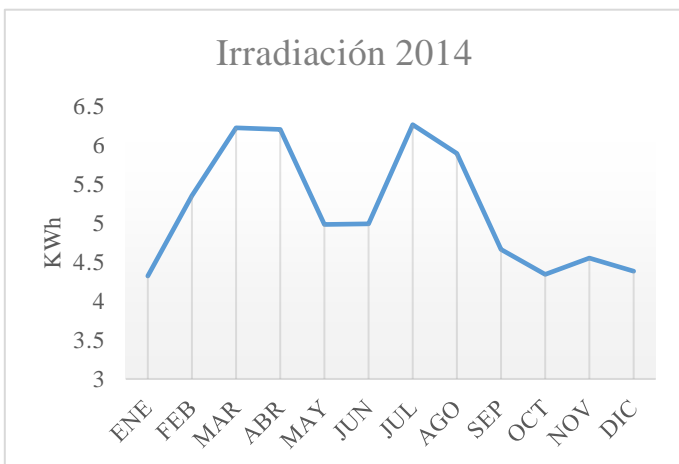


Figura A1.15 Irradiación Chiapas del año 2014 (NASA, 2022)

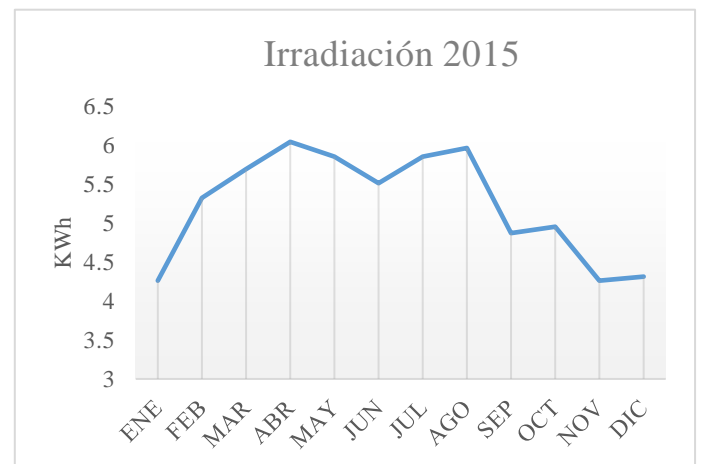


Figura A1.16 Irradiación Chiapas del año 2015 (NASA, 2022)

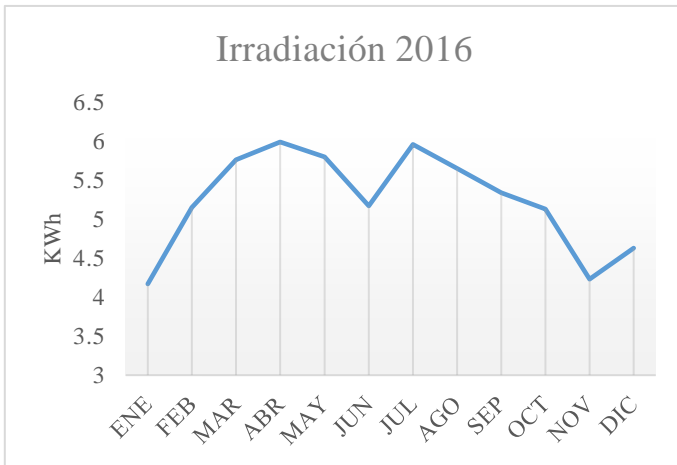


Figura A1.17 Irradiación Chiapas del año 2016 (NASA, 2022)



Figura A1.18 Irradiación Chiapas del año 2017 (NASA, 2022)

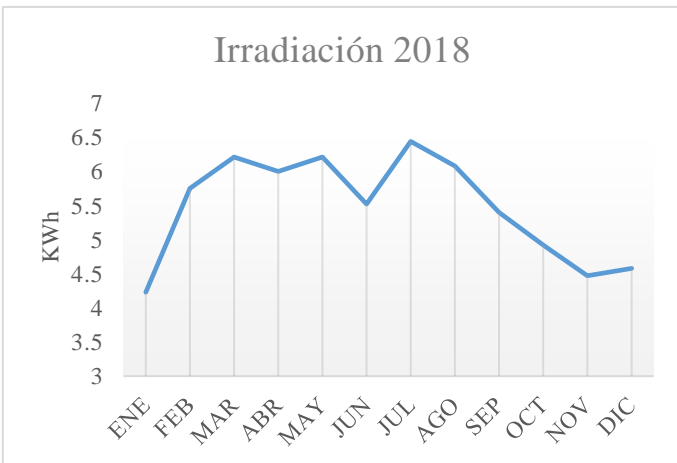


Figura A1.19 Irradiación Chiapas del año 2018 (NASA, 2022)

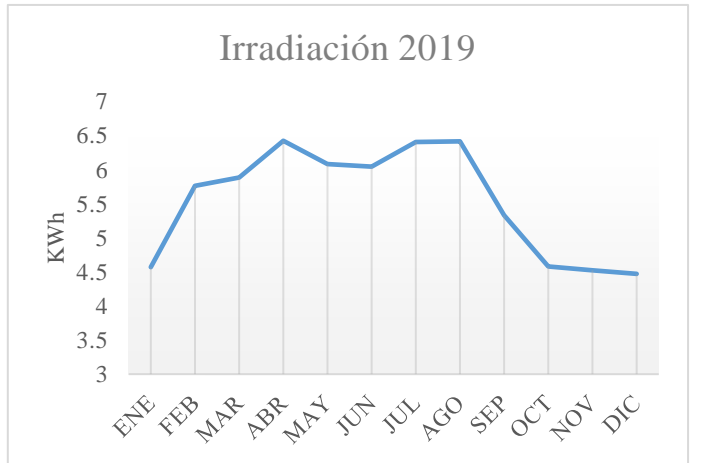


Figura A1.20 Irradiación Chiapas del año 2019 (NASA, 2022)

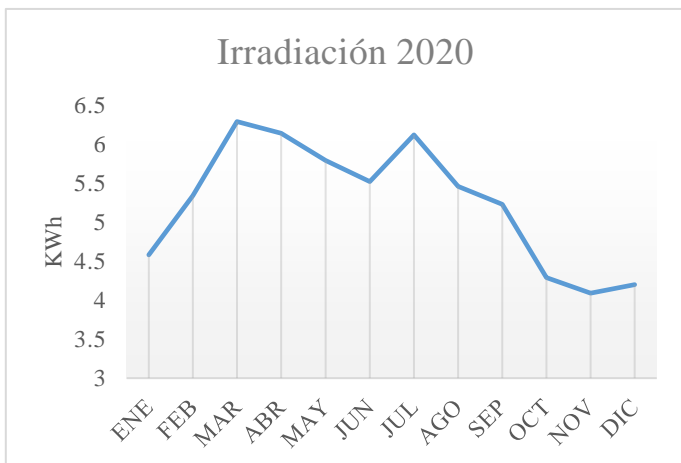


Figura A1.21 Irradiación Chiapas del año 2019 (NASA, 2022)

## YUCATÁN



Figura A1.22 Irradiación Yucatán del año 2010 (NASA, 2022)

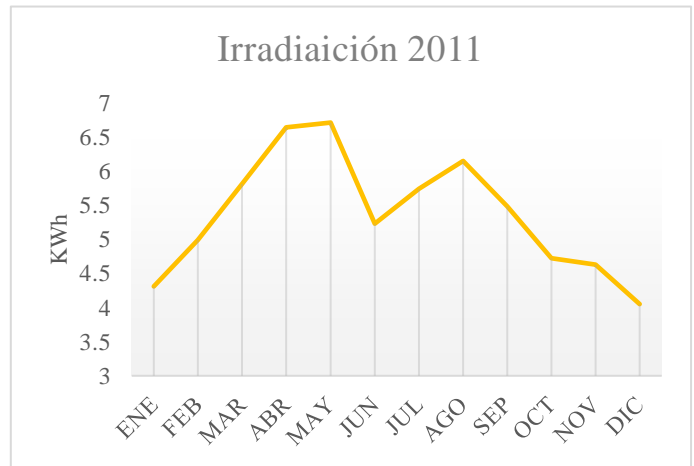


Figura A1.23 Irradiación Yucatán del año 2011 (NASA, 2022)



Figura A1.24 Irradiación Yucatán del año 2012 (NASA, 2022)

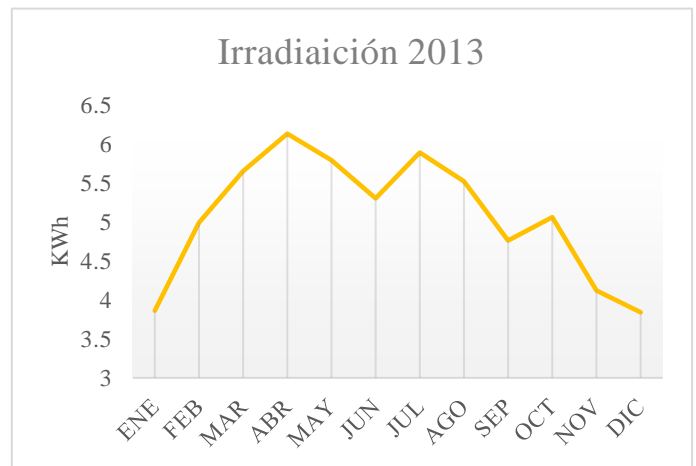


Figura A1.25 Irradiación Yucatán del año 2013 (NASA, 2022)

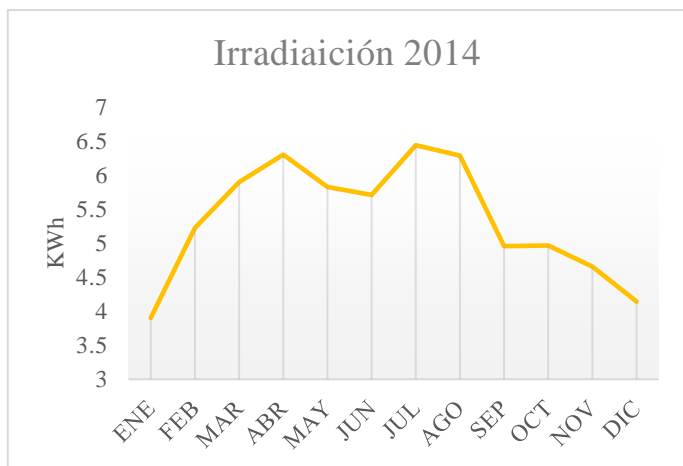


Figura A1.26 Irradiación Yucatán del año 2014 (NASA, 2022)

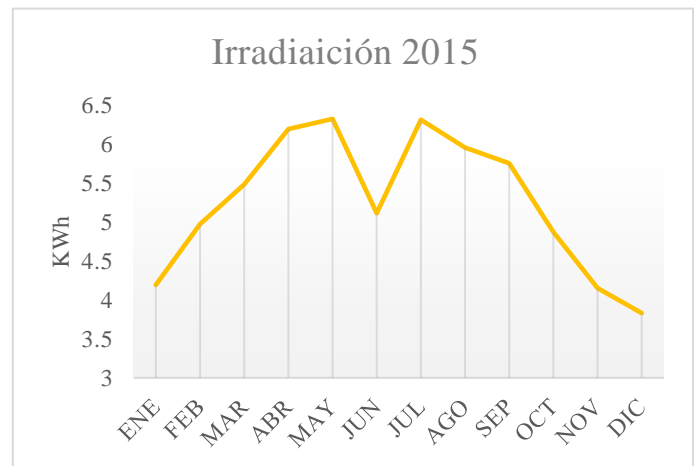


Figura A1.27 Irradiación Yucatán del año 2015 (NASA, 2022)

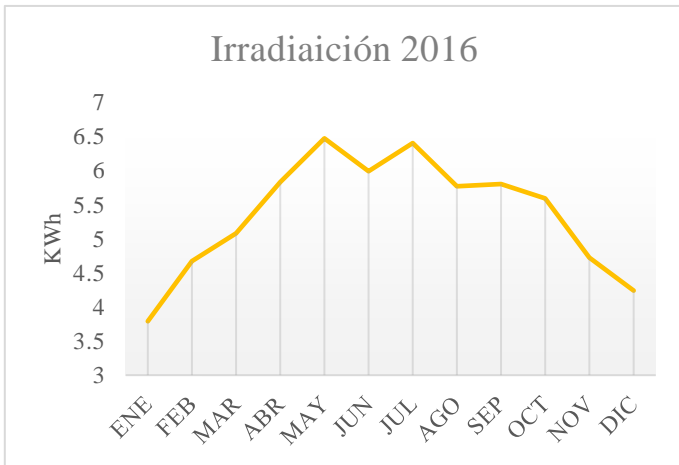


Figura A1.28 Irradiación Yucatán del año 2016 (NASA, 2022)



Figura A1.29 Irradiación Yucatán del año 2017 (NASA, 2022)

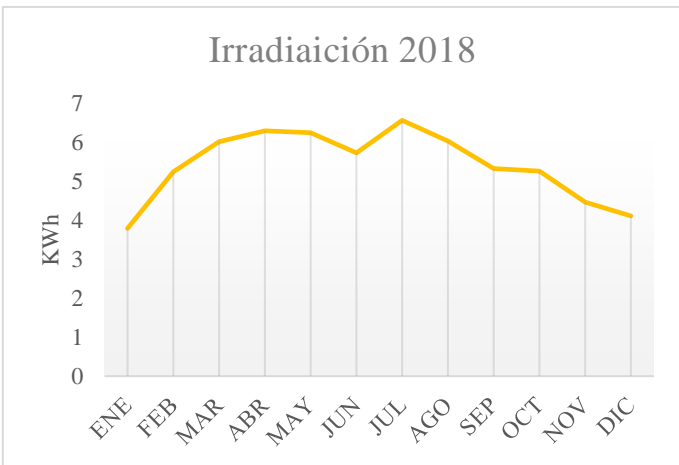


Figura A1.30 Irradiación Yucatán del año 2018 (NASA, 2022)

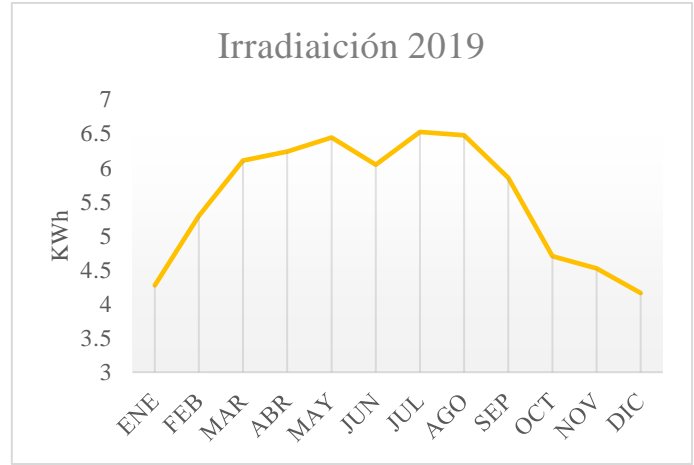


Figura A1.31 Irradiación Yucatán del año 2019 (NASA, 2022)

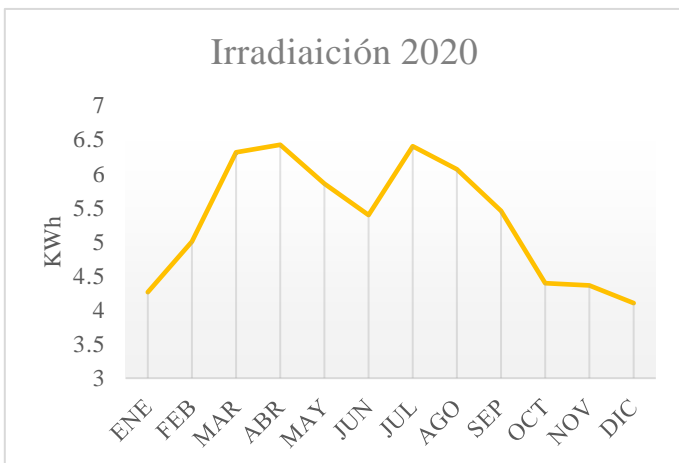


Figura A1.32 Irradiación Yucatán del año 2020 (NASA, 2022)

CAMPECHE



Figura A1.13 Irradiación en Campeche del año 2010 (NASA, 2022)



Figura A1.32 Irradiación en Campeche del año 2011 (NASA, 2022)



Figura A1.36 Irradiación en Campeche 2012 (NASA, 2022)



Figura A1.36 Irradiación en Campeche 2013 (NASA, 2022)

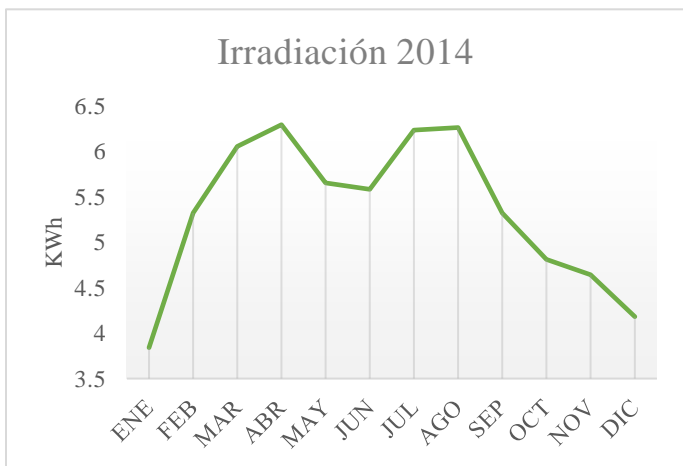


Figura A1.37 Irradiación en Campeche del año 2014 (NASA, 2022)

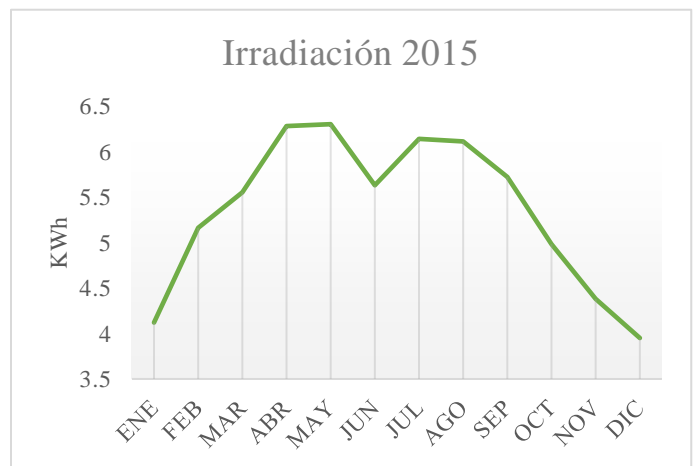


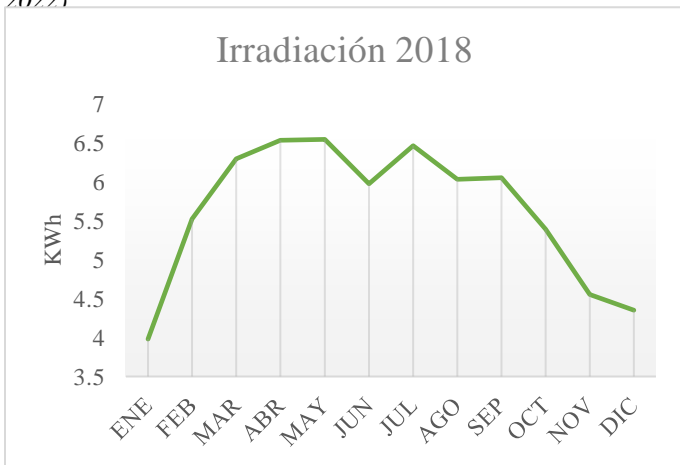
Figura A1.38 Irradiación en Campeche del año 2015 (NASA, 2022)



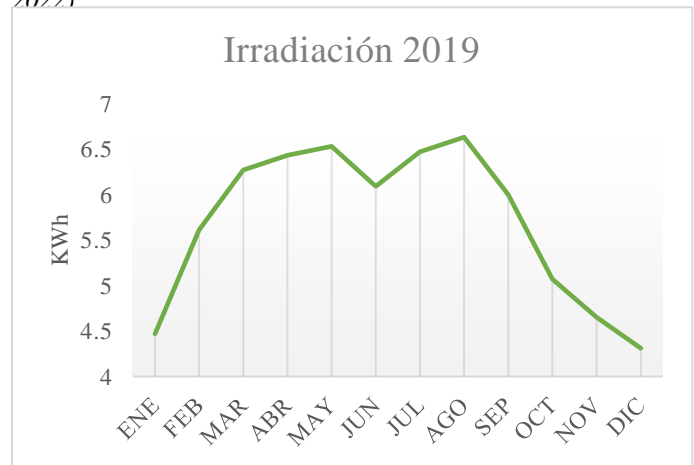
**Figura A1.39** Irradiación en Campeche del año 2016 (NASA, 2022)



**Figura A1.40** Irradiación en Campeche del año 2017 (NASA, 2022)



**Figura A1.41** Irradiación en Campeche del año 2018 (NASA, 2022)

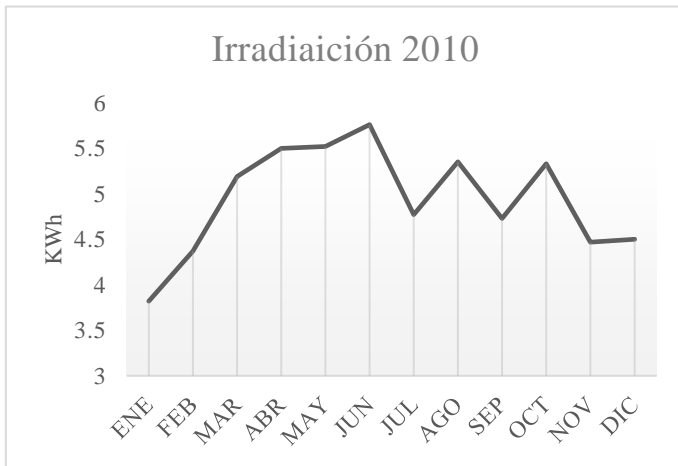


**Figura A1.42** Irradiación en Campeche del año 2019 (NASA, 2022)

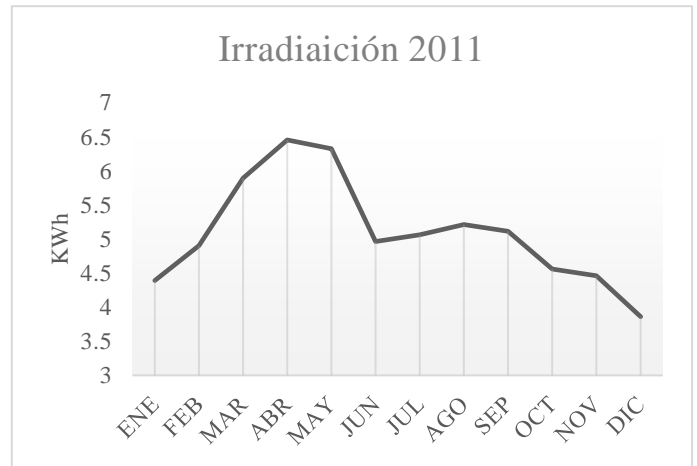


**Figura A1.43** Irradiación en Campeche del año 2020 (NASA, 2022)

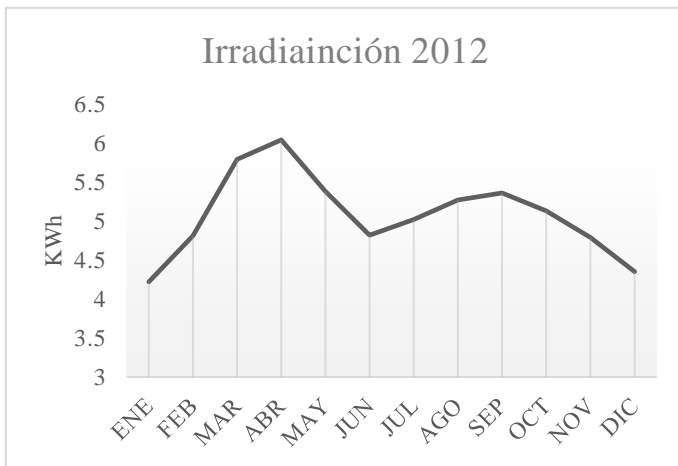
QUINTANA ROO



**Figura A1.44** Irradiación en Quintana Roo del año 2010 (NASA, 2022)



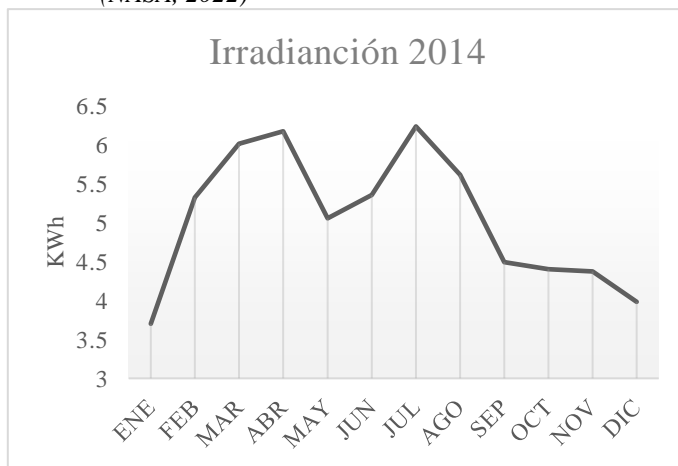
**Figura A1.45** Irradiación en Quintana Roo del año 2011 (NASA, 2022)



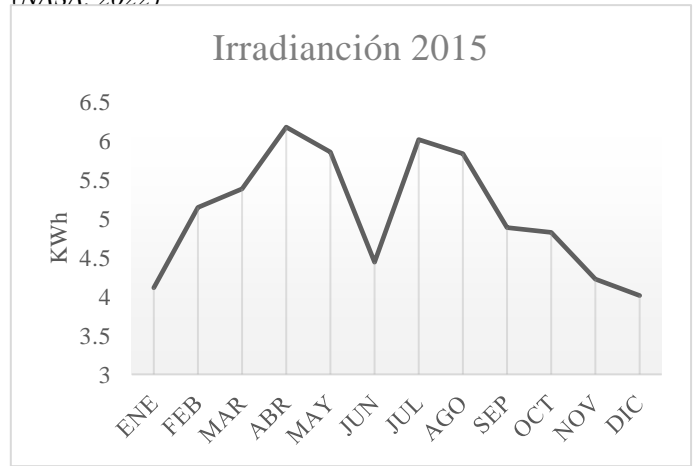
**Figura A1.46** Irradiación en Quintana Roo del año 2012 (NASA, 2022)



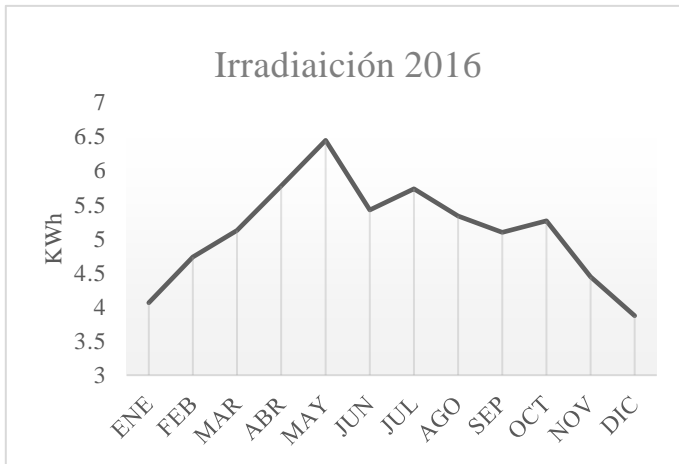
**Figura A1.47** Irradiación en Quintana Roo del año 2013 (NASA, 2022)



**Figura A1.48** Irradiación en Quintana Roo del año 2014 (NASA, 2022)



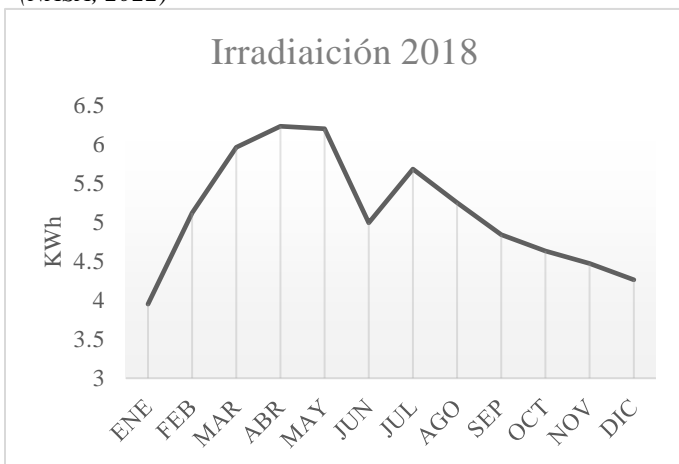
**Figura A1.49** Irradiación en Quintana Roo del año 2015 (NASA, 2022)



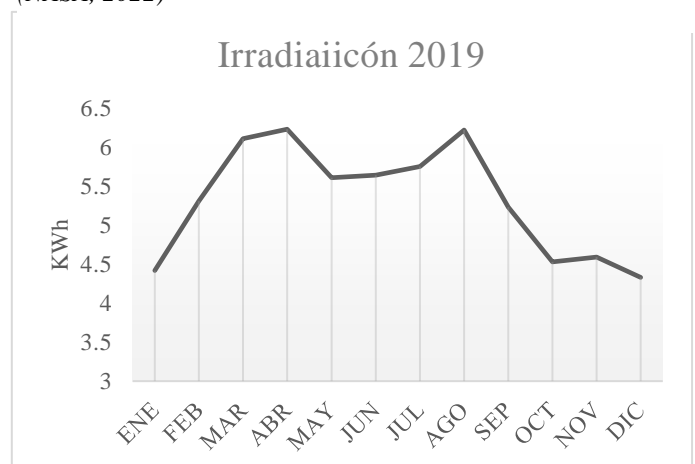
**Figura A1.50** Irradiación en Quintana Roo del año 2016 (NASA, 2022)



**Figura A1.51** Irradiación en Quintana Roo del año 2017 (NASA, 2022)



**Figura A1.52** Irradiación en Quintana Roo del año 2018 (NASA, 2022)



**Figura A1.53** Irradiación en Quintana Roo del año 2019 (NASA, 2022)



**Figura A1.54** Irradiación en Quintana Roo del año 2020 (NASA, 2022)



## ANEXO 2 Cargas Térmicas

### Cargas Térmicas para Tabasco

Tabla A2.1 Cargas Térmicas en Tabasco para la Carne de Pollo (Elaboración propia)

Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pollo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1435.19	25974.94	4829.08	92	527.86	885.22	33744.29
Febrero	1537.70	25974.94	5145.93	92	527.86	962.87	34241.30
Marzo	1640.21	25974.94	5277.10	92	527.86	1040.52	34552.64
Abril	1742.73	25974.94	5698.03	92	527.86	1118.17	35153.73
Mayo	1896.50	25974.94	6713.93	92	527.86	1234.65	36439.88
Junio	1793.98	25974.94	6532.14	92	527.86	1157.00	36077.92
Julio	1742.73	25974.94	6276.68	92	527.86	1118.17	35732.38
Agosto	1691.47	25974.94	5835.07	92	527.86	1079.35	35200.69
Septiembre	1640.21	25974.94	6351.93	92	527.86	1040.52	35627.47
Octubre	1640.21	25974.94	6507.81	92	527.86	1040.52	35783.35
Noviembre	1588.96	25974.94	5680.61	92	527.86	1001.70	34866.06
Diciembre	1486.44	25974.94	5232.07	92	527.86	924.05	34237.36

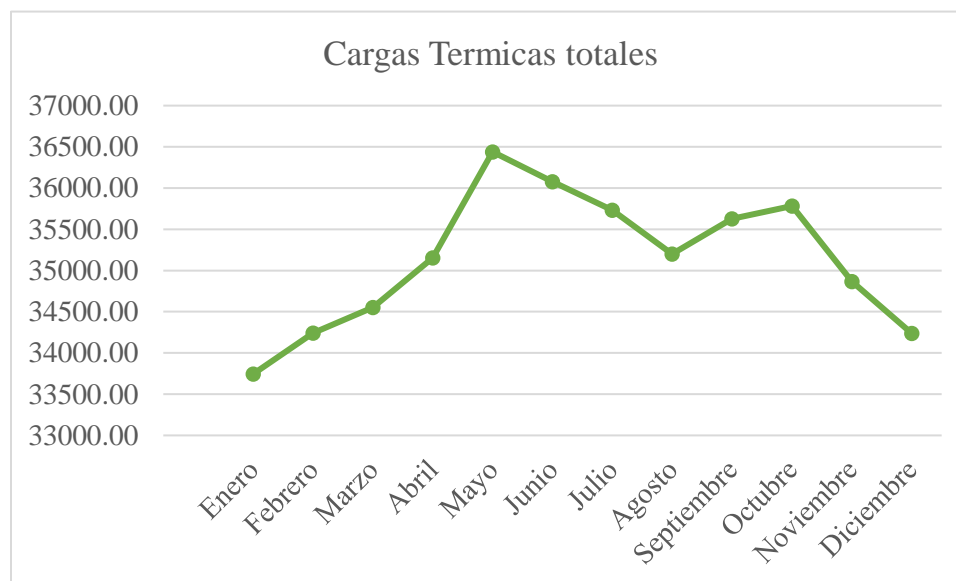
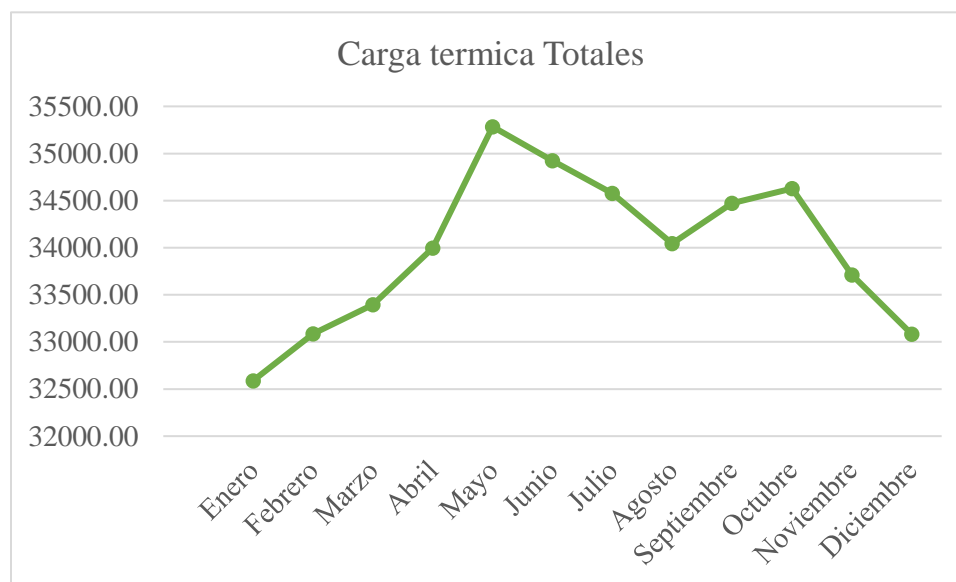


Figura A2.1 Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pollo (Elaboración propia)

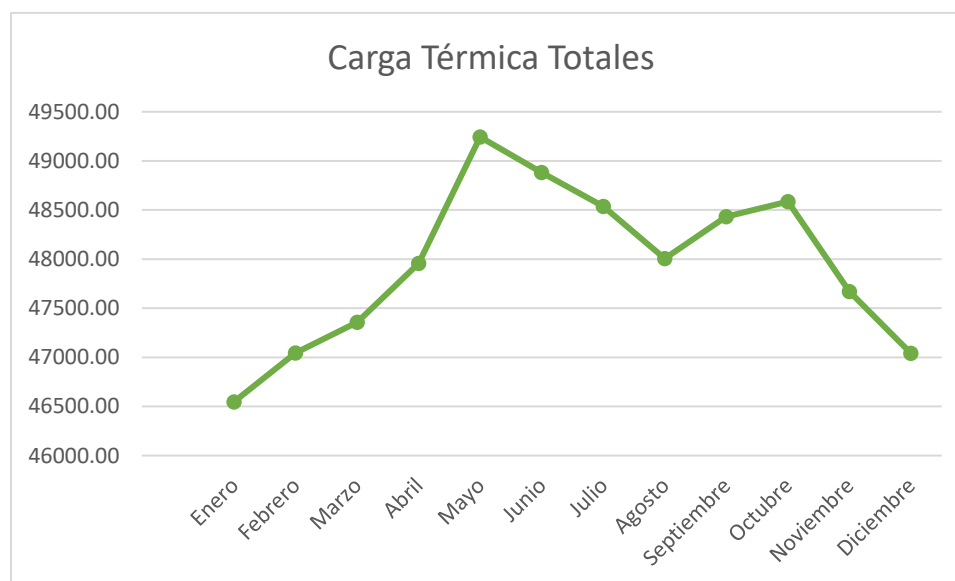
**Tabla A2.1** Cargas Térmicas en Tabasco para la Carne de Cerdo (Elaboración propia)

Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Cerdo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1435.19	24819.35	4829.08	92	527.86	885.22	32588.70
Febrero	1537.70	24819.35	5145.93	92	527.86	962.87	33085.71
Marzo	1640.214	24819.35	5277.10	92	527.86	1040.52319	33397.05
Abril	1742.7273	24819.35	5698.03	92	527.86	1118.17418	33998.14
Mayo	1896.4974	24819.35	6713.93	92	527.86	1234.65065	35284.29
Junio	1793.984	24819.35	6532.14	92	527.86	1156.99967	34922.33
Julio	1742.7273	24819.35	6276.68	92	527.86	1118.17418	34576.79
Agosto	1691.4706	24819.35	5835.07	92	527.86	1079.34868	34045.10
Septiembre	1640.214	24819.35	6351.93	92	527.86	1040.52319	34471.88
Octubre	1640.214	24819.35	6507.81	92	527.86	1040.52319	34627.76
Noviembre	1588.9573	24819.35	5680.61	92	527.86	1001.6977	33710.47
Diciembre	1486.4439	24819.35	5232.07	92	527.86	924.046715	33081.77

**Figura A2.2** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Cerdo (Elaboración propia)

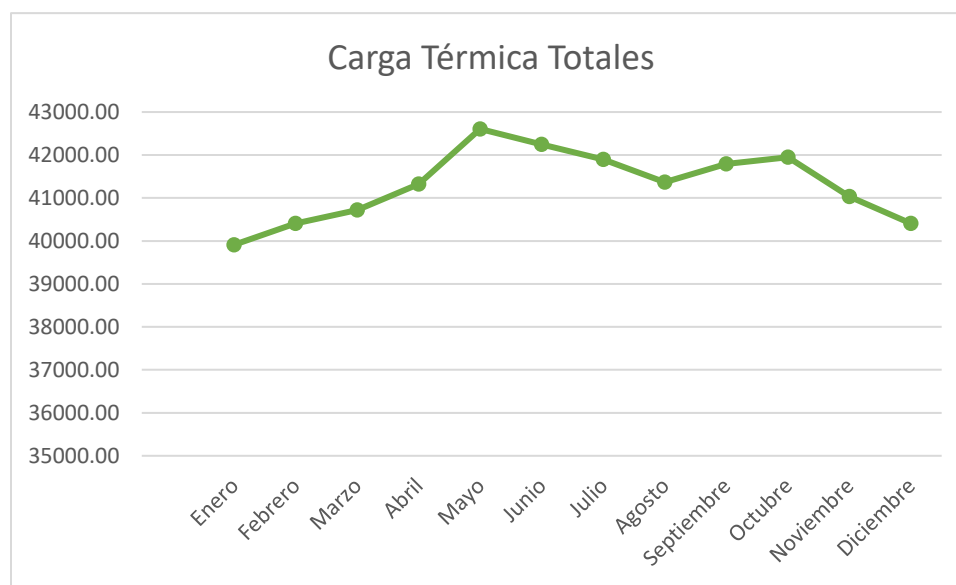
**Tabla A2.3** Cargas Térmicas en Tabasco para la Carne de Bovino (Elaboración propia)

Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Bovino)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1435.19	38778.53	4829.08	92	527.86	885.22	46547.87
Febrero	1537.70	38778.53	5145.93	92	527.86	962.87	47044.89
Marzo	1640.21	38778.53	5277.10	92	527.86	1040.52	47356.22
Abril	1742.73	38778.53	5698.03	92	527.86	1118.17	47957.32
Mayo	1896.50	38778.53	6713.93	92	527.86	1234.65	49243.46
Junio	1793.98	38778.53	6532.14	92	527.86	1157.00	48881.51
Julio	1742.73	38778.53	6276.68	92	527.86	1118.17	48535.97
Agosto	1691.47	38778.53	5835.07	92	527.86	1079.35	48004.28
Septiembre	1640.21	38778.53	6351.93	92	527.86	1040.52	48431.06
Octubre	1640.21	38778.53	6507.81	92	527.86	1040.52	48586.93
Noviembre	1588.96	38778.53	5680.61	92	527.86	1001.70	47669.65
Diciembre	1486.44	38778.53	5232.07	92	527.86	924.05	47040.95

**Figura A2.3** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Bovino (Elaboración propia)

**Tabla A2.4** Cargas Térmicas en Tabasco para la Carne de Bovino (Elaboración propia)

Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (pescado)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1435.19	32140.69	4829.08	92	527.86	885.22	39910.04
Febrero	1537.70	32140.69	5145.93	92	527.86	962.87	40407.05
Marzo	1640.21	32140.69	5277.10	92	527.86	1040.52	40718.39
Abril	1742.73	32140.69	5698.03	92	527.86	1118.17	41319.48
Mayo	1896.50	32140.69	6713.93	92	527.86	1234.65	42605.63
Junio	1793.98	32140.69	6532.14	92	527.86	1157.00	42243.67
Julio	1742.73	32140.69	6276.68	92	527.86	1118.17	41898.13
Agosto	1691.47	32140.69	5835.07	92	527.86	1079.35	41366.44
Septiembre	1640.21	32140.69	6351.93	92	527.86	1040.52	41793.22
Octubre	1640.21	32140.69	6507.81	92	527.86	1040.52	41949.10
Noviembre	1588.96	32140.69	5680.61	92	527.86	1001.70	41031.81
Diciembre	1486.44	32140.69	5232.07	92	527.86	924.05	40403.11

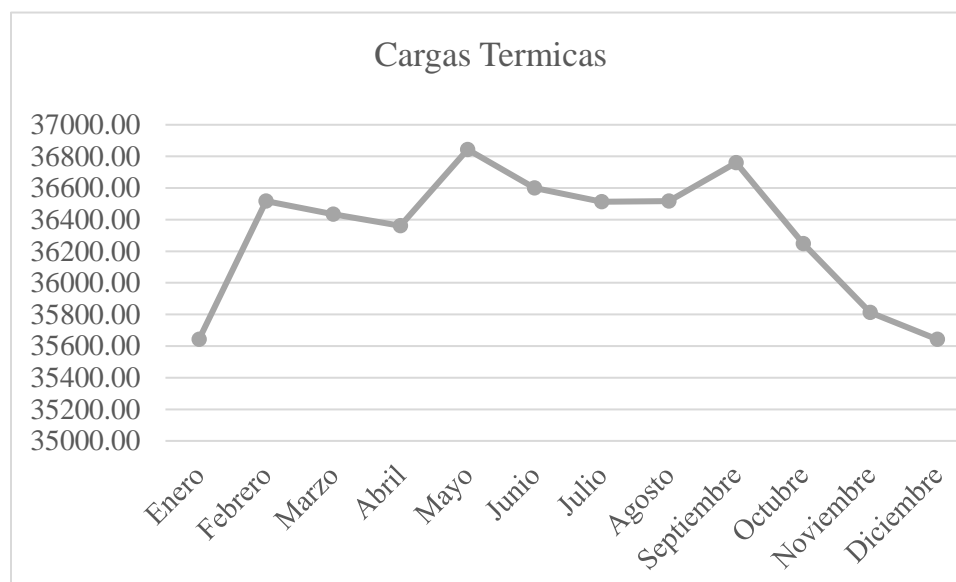


**Figura A2.4** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pescado (Elaboración propia)

## Cargas Térmicas para Chiapas

*Tabla A2.5 Cargas Térmicas en Chiapas para la Carne de Pollo (Elaboración propia)*

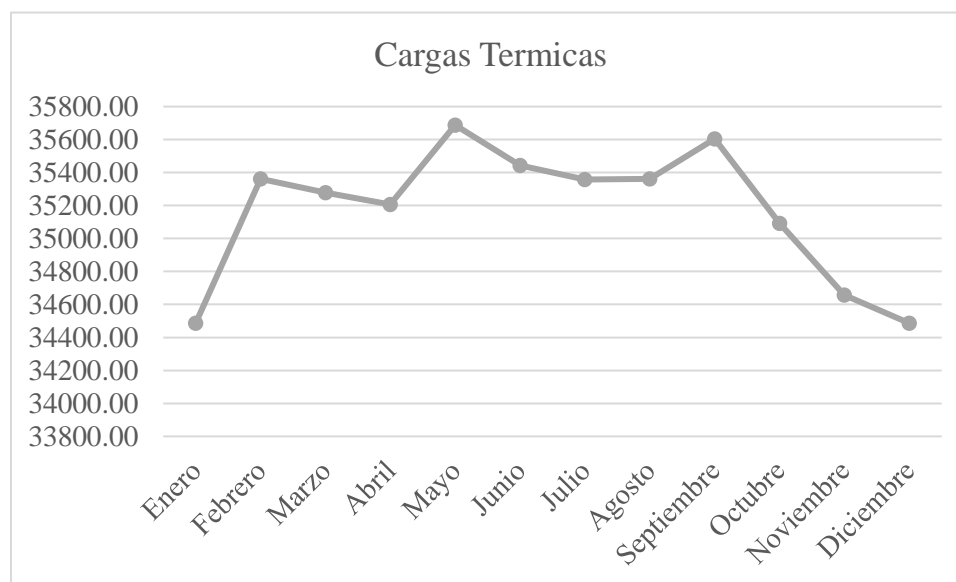
Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pollo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	25974.94	6276.68	92	527.86	1079.35	35642.30
Febrero	1845.24	25974.94	6880.41	92	527.86	1195.83	36516.27
Marzo	1947.75	25974.94	6617.29	92	527.86	1273.48	36433.32
Abril	1999.01	25974.94	6455.69	92	527.86	1312.30	36361.81
Mayo	1896.50	25974.94	6455.69	92	527.86	1896.50	36843.49
Junio	1845.24	25974.94	6963.65	92	527.86	1195.83	36599.51
Julio	1845.24	25974.94	6876.62	92	527.86	1195.83	36512.49
Agosto	1845.24	25974.94	6880.41	92	527.86	1195.83	36516.27
Septiembre	1793.98	25974.94	7213.36	92	527.86	1157.00	36759.15
Octubre	1742.73	25974.94	6792.44	92	527.86	1118.17	36248.14
Noviembre	1691.47	25974.94	6446.99	92	527.86	1079.35	35812.61
Diciembre	1691.47	25974.94	6276.68	92	527.86	1079.35	35642.30



*Figura A2.5 Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pollo (Elaboración propia)*

**Tabla A2.6** Cargas Térmicas en Chiapas para la Carne de Cerdo (Elaboración propia)

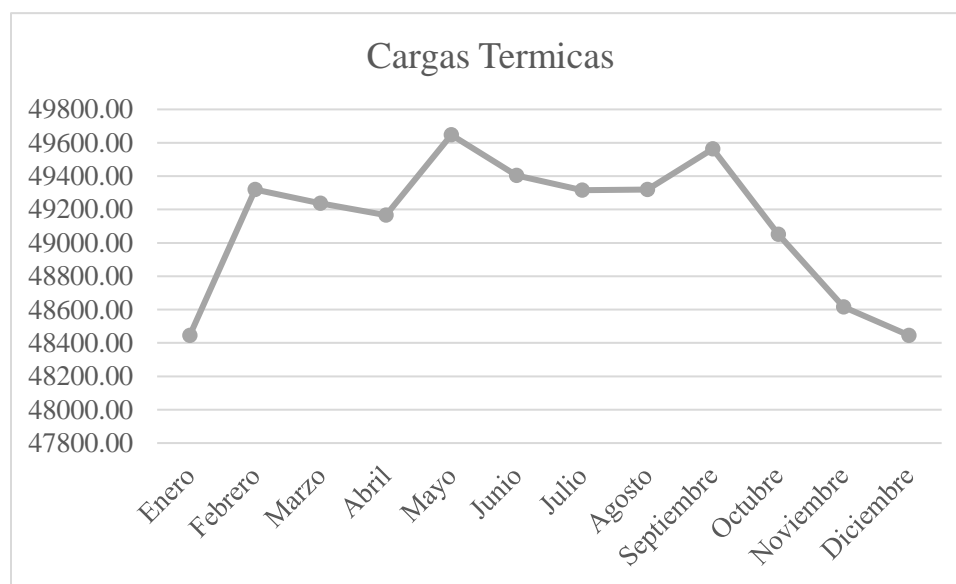
Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Cerdo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	24819.35	6276.68	92	527.86	1079.35	34486.71
Febrero	1845.24	24819.35	6880.41	92	527.86	1195.83	35360.68
Marzo	1947.75	24819.35	6617.29	92	527.86	1273.48	35277.73
Abril	1999.01	24819.35	6455.69	92	527.86	1312.30	35206.22
Mayo	1896.50	24819.35	6455.69	92	527.86	1896.50	35687.90
Junio	1845.24	24819.35	6963.65	92	527.86	1195.83	35443.92
Julio	1845.24	24819.35	6876.62	92	527.86	1195.83	35356.90
Agosto	1845.24	24819.35	6880.41	92	527.86	1195.83	35360.68
Septiembre	1793.98	24819.35	7213.36	92	527.86	1157.00	35603.56
Octubre	1742.73	24819.35	6792.44	92	527.86	1118.17	35092.55
Noviembre	1691.47	24819.35	6446.99	92	527.86	1079.35	34657.02
Diciembre	1691.47	24819.35	6276.68	92	527.86	1079.35	34486.71



**Figura A2.6** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Cerdo (Elaboración propia)

**Tabla A2.7** Cargas Térmicas en Chiapas para la Carne de Bovino (Elaboración propia)

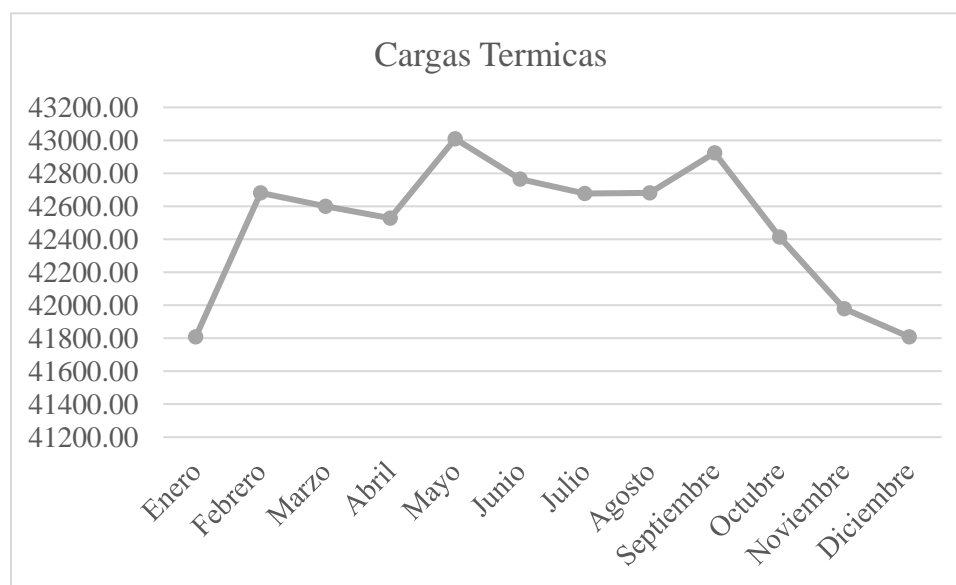
Meses Tabasco	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Bovino)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	38778.53	6276.68	92	527.86	1079.35	48445.89
Febrero	1845.24	38778.53	6880.41	92	527.86	1195.83	49319.86
Marzo	1947.75	38778.53	6617.29	92	527.86	1273.48	49236.91
Abril	1999.01	38778.53	6455.69	92	527.86	1312.30	49165.40
Mayo	1896.50	38778.53	6455.69	92	527.86	1896.50	49647.08
Junio	1845.24	38778.53	6963.65	92	527.86	1195.83	49403.10
Julio	1845.24	38778.53	6876.62	92	527.86	1195.83	49316.08
Agosto	1845.24	38778.53	6880.41	92	527.86	1195.83	49319.86
Septiembre	1793.98	38778.53	7213.36	92	527.86	1157.00	49562.74
Octubre	1742.73	38778.53	6792.44	92	527.86	1118.17	49051.73
Noviembre	1691.47	38778.53	6446.99	92	527.86	1079.35	48616.19
Diciembre	1691.47	38778.53	6276.68	92	527.86	1079.35	48445.89



**Figura A2.7** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Bovino (Elaboración propia)

**Tabla A2.8** Cargas Térmicas en Chiapas para la Carne de Pescado (Elaboración propia)

Meses Chiapas	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pescado)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	32140.69	6276.68	92	527.86	1079.35	41808.05
Febrero	1845.24	32140.69	6880.41	92	527.86	1195.83	42682.02
Marzo	1947.75	32140.69	6617.29	92	527.86	1273.48	42599.07
Abril	1999.01	32140.69	6455.69	92	527.86	1312.30	42527.56
Mayo	1896.50	32140.69	6455.69	92	527.86	1896.50	43009.24
Junio	1845.24	32140.69	6963.65	92	527.86	1195.83	42765.26
Julio	1845.24	32140.69	6876.62	92	527.86	1195.83	42678.24
Agosto	1845.24	32140.69	6880.41	92	527.86	1195.83	42682.02
Septiembre	1793.98	32140.69	7213.36	92	527.86	1157.00	42924.90
Octubre	1742.73	32140.69	6792.44	92	527.86	1118.17	42413.89
Noviembre	1691.47	32140.69	6446.99	92	527.86	1079.35	41978.36
Diciembre	1691.47	32140.69	6276.68	92	527.86	1079.35	41808.05



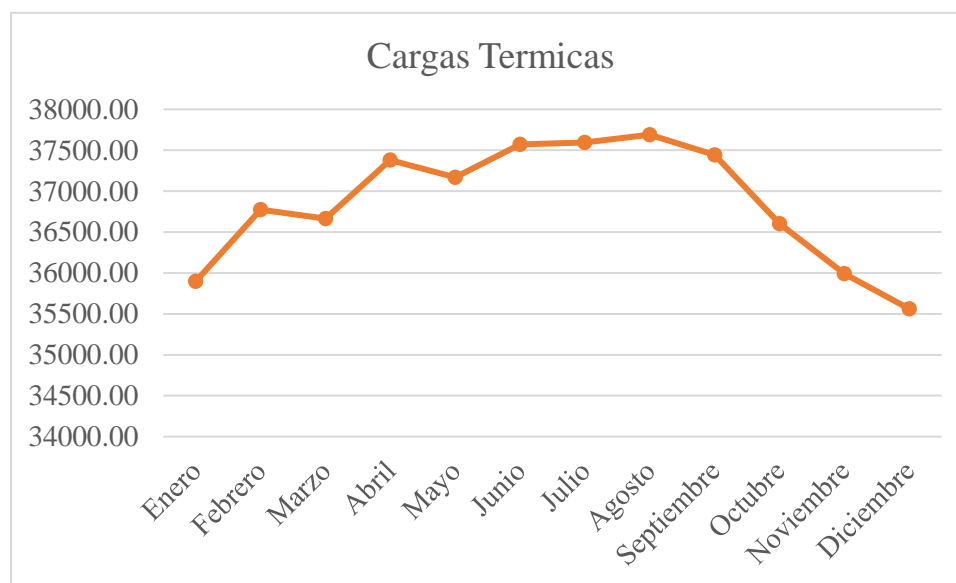
**Figura A2.8** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pescado (Elaboración propia)



## Cargas Térmicas para Yucatán

*Tabla A2.9 Cargas Térmicas en Yucatán para la Carne de Pollo (Elaboración propia)*

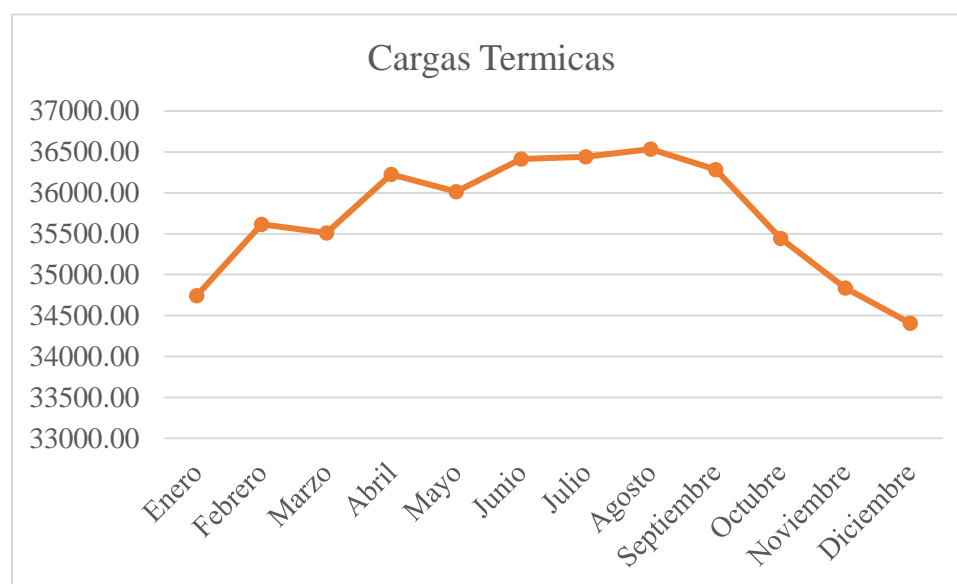
Meses Yucatán	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pollo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1793.98	25974.9417	6351.93	92	527.86	1157.00	35897.72
Febrero	1896.50	25974.9417	7046.88	92	527.86	1234.65	36772.83
Marzo	1999.01	25974.9417	6758.10	92	527.86	1312.30	36664.22
Abril	2101.52	25974.9417	7294.77	92	527.86	1389.95	37381.05
Mayo	2050.27	25974.9417	7172.43	92	527.86	1351.13	37168.63
Junio	1999.01	25974.9417	7663.59	92	527.86	1312.30	37569.71
Julio	1999.01	25974.9417	7689.73	92	527.86	1312.30	37595.84
Agosto	1999.01	25974.9417	7783.23	92	527.86	1312.30	37689.35
Septiembre	1947.75	25974.9417	7624.94	92	527.86	1273.48	37440.97
Octubre	1845.24	25974.9417	6963.65	92	527.86	1195.83	36599.51
Noviembre	1793.98	25974.9417	6446.99	92	527.86	1157.00	35992.77
Diciembre	1742.73	25974.9417	6106.37	92	527.86	1118.17	35562.08



*Figura A2.9 Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pollo (Elaboración propia)*

**Tabla A2.10** Cargas Térmicas en Yucatán para la Carne de Cerdo (Elaboración propia)

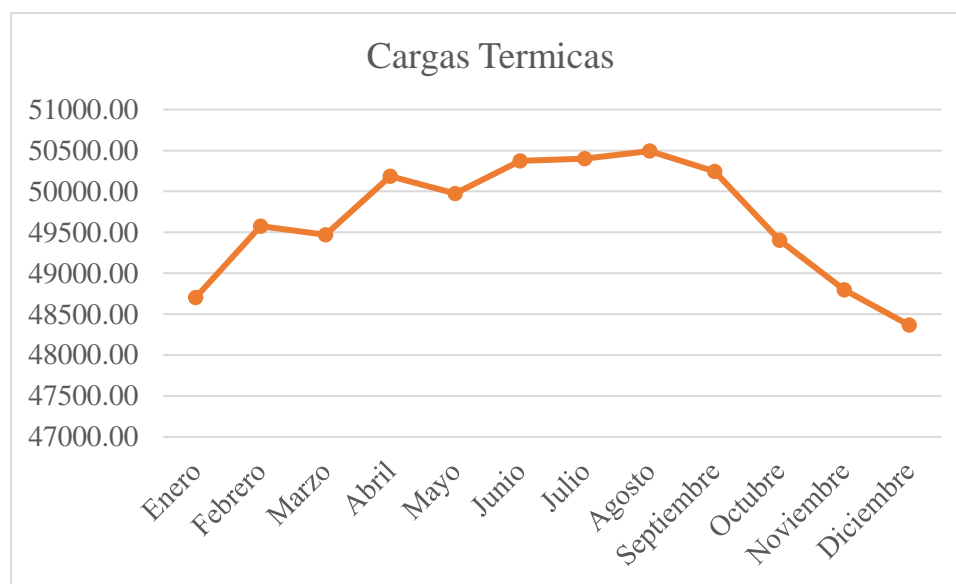
Meses Yucatán	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Cerdo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1793.98	24819.35	6351.93	92	527.86	1157.00	34742.13
Febrero	1896.50	24819.35	7046.88	92	527.86	1234.65	35617.24
Marzo	1999.01	24819.35	6758.10	92	527.86	1312.30	35508.63
Abril	2101.52	24819.35	7294.77	92	527.86	1389.95	36225.46
Mayo	2050.27	24819.35	7172.43	92	527.86	1351.13	36013.04
Junio	1999.01	24819.35	7663.59	92	527.86	1312.30	36414.12
Julio	1999.01	24819.35	7689.73	92	527.86	1312.30	36440.25
Agosto	1999.01	24819.35	7783.23	92	527.86	1312.30	36533.76
Septiembre	1947.75	24819.35	7624.94	92	527.86	1273.48	36285.38
Octubre	1845.24	24819.35	6963.65	92	527.86	1195.83	35443.92
Noviembre	1793.98	24819.35	6446.99	92	527.86	1157.00	34837.18
Diciembre	1742.73	24819.35	6106.37	92	527.86	1118.17	34406.49



**Figura A2.10** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Cerdo (Elaboración propia)

**Tabla A2.11** Cargas Térmicas en Yucatán para la Carne de Bovino (Elaboración propia)

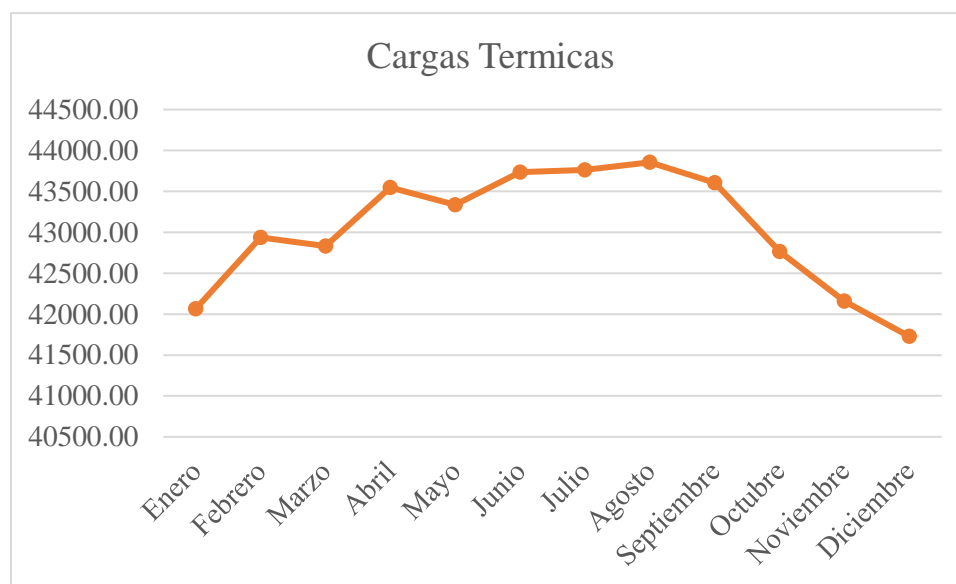
Meses Yucatán	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Bovino)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1793.98	38778.528	6351.93	92	527.86	1157.00	48701.30
Febrero	1896.50	38778.528	7046.88	92	527.86	1234.65	49576.42
Marzo	1999.01	38778.528	6758.10	92	527.86	1312.30	49467.80
Abril	2101.52	38778.528	7294.77	92	527.86	1389.95	50184.64
Mayo	2050.27	38778.528	7172.43	92	527.86	1351.13	49972.22
Junio	1999.01	38778.528	7663.59	92	527.86	1312.30	50373.29
Julio	1999.01	38778.528	7689.73	92	527.86	1312.30	50399.43
Agosto	1999.01	38778.528	7783.23	92	527.86	1312.30	50492.94
Septiembre	1947.75	38778.528	7624.94	92	527.86	1273.48	50244.56
Octubre	1845.24	38778.528	6963.65	92	527.86	1195.83	49403.10
Noviembre	1793.98	38778.528	6446.99	92	527.86	1157.00	48796.36
Diciembre	1742.73	38778.528	6106.37	92	527.86	1118.17	48365.66



**Figura A2.11** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Bovino (Elaboración propia)

**Tabla A2.12** Cargas Térmicas en Yucatán para la Carne de Pescado (Elaboración propia)

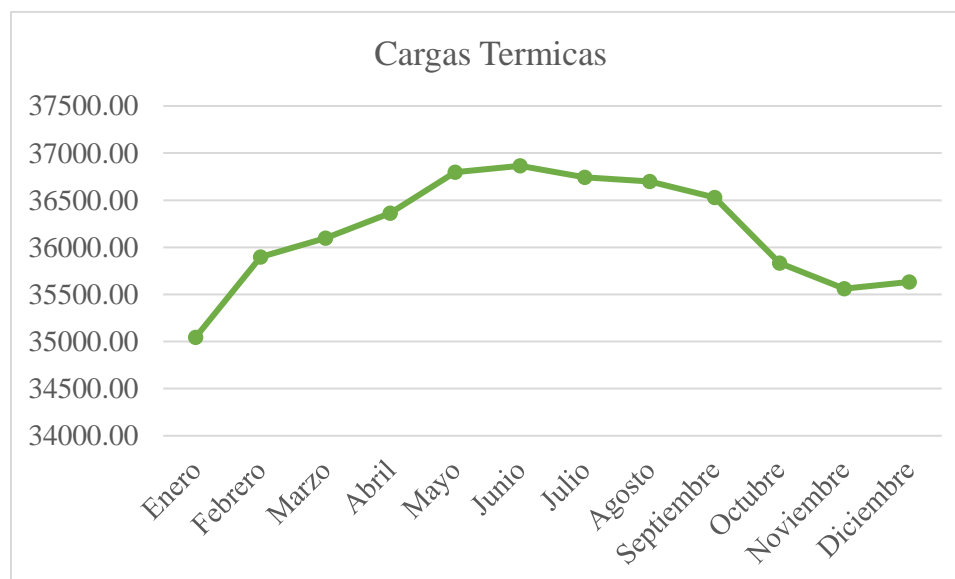
Meses Yucatán	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pescado)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1793.98	32140.6913	6351.93	92	527.86	1157.00	42063.47
Febrero	1896.50	32140.6913	7046.88	92	527.86	1234.65	42938.58
Marzo	1999.01	32140.6913	6758.10	92	527.86	1312.30	42829.97
Abril	2101.52	32140.6913	7294.77	92	527.86	1389.95	43546.80
Mayo	2050.27	32140.6913	7172.43	92	527.86	1351.13	43334.38
Junio	1999.01	32140.6913	7663.59	92	527.86	1312.30	43735.46
Julio	1999.01	32140.6913	7689.73	92	527.86	1312.30	43761.59
Agosto	1999.01	32140.6913	7783.23	92	527.86	1312.30	43855.10
Septiembre	1947.75	32140.6913	7624.94	92	527.86	1273.48	43606.72
Octubre	1845.24	32140.6913	6963.65	92	527.86	1195.83	42765.26
Noviembre	1793.98	32140.6913	6446.99	92	527.86	1157.00	42158.52
Diciembre	1742.73	32140.6913	6106.37	92	527.86	1118.17	41727.83

**Figura A2.12** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pescado (Elaboración propia)

## Cargas Térmicas para Campeche

*Tabla A2.13 Cargas Térmicas en Campeche para la Carne de Pollo (Elaboración propia)*

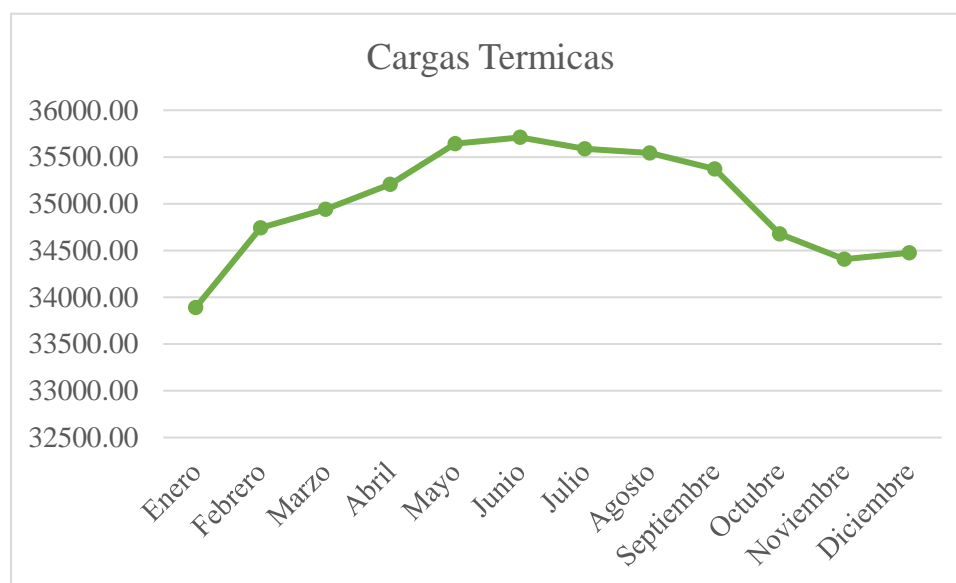
Meses Campeche	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pollo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	25974.94	5680.61	92	527.86	1079.35	35046.23
Febrero	1793.98	25974.94	6351.93	92	527.86	1157.00	35897.72
Marzo	1896.50	25974.94	6371.51	92	527.86	1234.65	36097.46
Abril	1947.75	25974.94	6547.45	92	527.86	1273.48	36363.48
Mayo	1999.01	25974.94	6891.98	92	527.86	1312.30	36798.09
Junio	1947.75	25974.94	7048.73	92	527.86	1273.48	36864.77
Julio	1947.75	25974.94	6926.85	92	527.86	1273.48	36742.89
Agosto	1947.75	25974.94	6884.11	92	527.86	1273.48	36700.14
Septiembre	1896.50	25974.94	6801.79	92	527.86	1234.65	36527.74
Octubre	1793.98	25974.94	6287.32	92	527.86	1157.00	35833.11
Noviembre	1742.73	25974.94	6106.37	92	527.86	1118.17	35562.08
Diciembre	1691.47	25974.94	6265.79	92	527.86	1079.35	35631.41



*Figura A2.13 Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pollo (Elaboración propia)*

**Tabla A2.14** Cargas Térmicas en Campeche para la Carne de Cerdo (Elaboración propia)

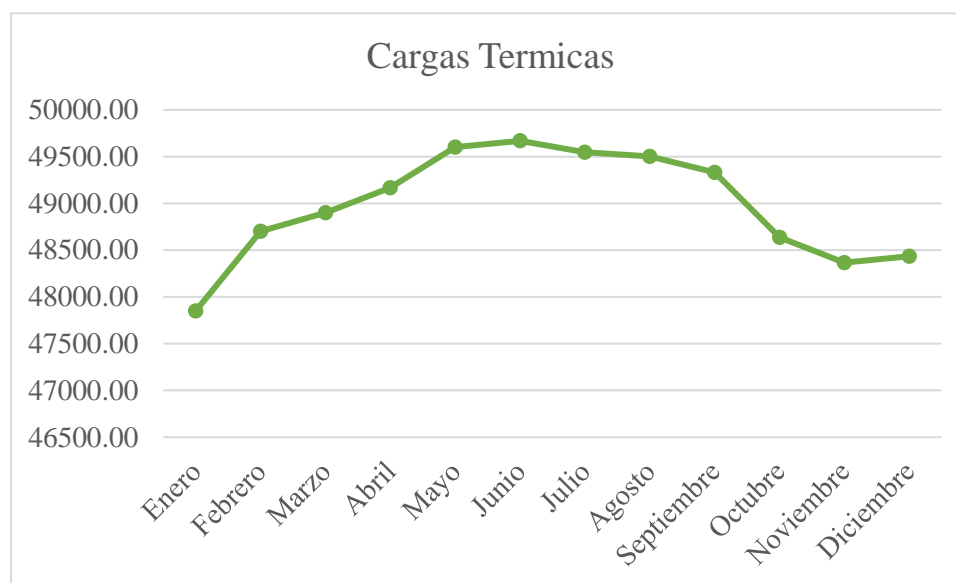
Meses Campeche	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Cerdo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	24819.35	5680.61	92	527.86	1079.35	33890.64
Febrero	1793.98	24819.35	6351.93	92	527.86	1157.00	34742.13
Marzo	1896.50	24819.35	6371.51	92	527.86	1234.65	34941.87
Abril	1947.75	24819.35	6547.45	92	527.86	1273.48	35207.89
Mayo	1999.01	24819.35	6891.98	92	527.86	1312.30	35642.50
Junio	1947.75	24819.35	7048.73	92	527.86	1273.48	35709.18
Julio	1947.75	24819.35	6926.85	92	527.86	1273.48	35587.30
Agosto	1947.75	24819.35	6884.11	92	527.86	1273.48	35544.55
Septiembre	1896.50	24819.35	6801.79	92	527.86	1234.65	35372.15
Octubre	1793.98	24819.35	6287.32	92	527.86	1157.00	34677.52
Noviembre	1742.73	24819.35	6106.37	92	527.86	1118.17	34406.49
Diciembre	1691.47	24819.35	6265.79	92	527.86	1079.35	34475.82



**Figura A2.14** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Cerdo (Elaboración propia)

**Tabla A2.15** Cargas Térmicas en Campeche para la Carne de Bovino (Elaboración propia)

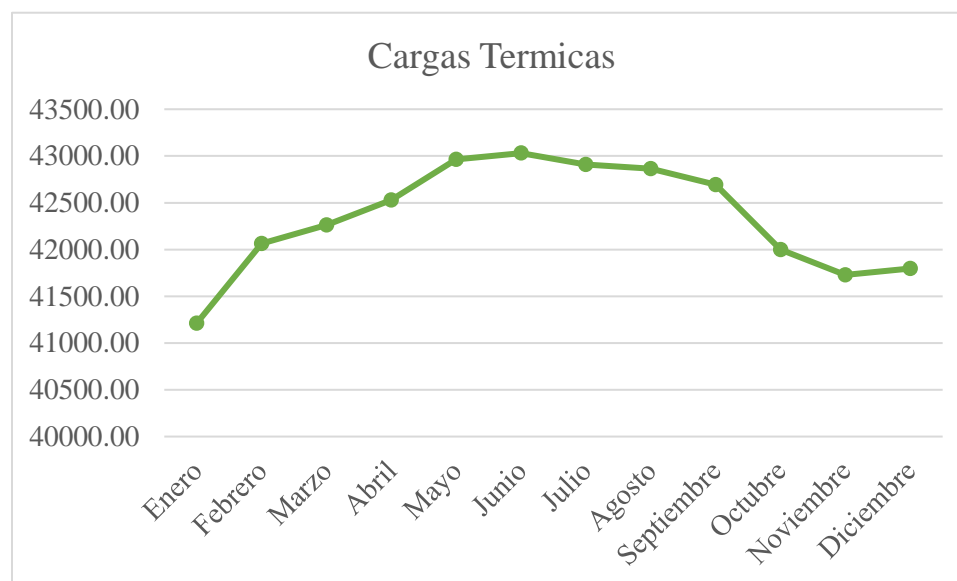
Meses Campeche	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Bovino)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	38778.53	5680.61	92	527.86	1079.35	47849.82
Febrero	1793.98	38778.53	6351.93	92	527.86	1157.00	48701.30
Marzo	1896.50	38778.53	6371.51	92	527.86	1234.65	48901.05
Abril	1947.75	38778.53	6547.45	92	527.86	1273.48	49167.07
Mayo	1999.01	38778.53	6891.98	92	527.86	1312.30	49601.68
Junio	1947.75	38778.53	7048.73	92	527.86	1273.48	49668.35
Julio	1947.75	38778.53	6926.85	92	527.86	1273.48	49546.47
Agosto	1947.75	38778.53	6884.11	92	527.86	1273.48	49503.72
Septiembre	1896.50	38778.53	6801.79	92	527.86	1234.65	49331.33
Octubre	1793.98	38778.53	6287.32	92	527.86	1157.00	48636.70
Noviembre	1742.73	38778.53	6106.37	92	527.86	1118.17	48365.66
Diciembre	1691.47	38778.53	6265.79	92	527.86	1079.35	48435.00



**Figura A2.15** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Cerdo (Elaboración propia)

**Tabla A2.16** Cargas Térmicas en Campeche para la Carne de Pescado (Elaboración propia)

Meses Campeche	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pescado)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1691.47	32140.69	5680.61	92	527.86	1079.35	41211.98
Febrero	1793.98	32140.69	6351.93	92	527.86	1157.00	42063.47
Marzo	1896.50	32140.69	6371.51	92	527.86	1234.65	42263.21
Abril	1947.75	32140.69	6547.45	92	527.86	1273.48	42529.23
Mayo	1999.01	32140.69	6891.98	92	527.86	1312.30	42963.84
Junio	1947.75	32140.69	7048.73	92	527.86	1273.48	43030.52
Julio	1947.75	32140.69	6926.85	92	527.86	1273.48	42908.64
Agosto	1947.75	32140.69	6884.11	92	527.86	1273.48	42865.89
Septiembre	1896.50	32140.69	6801.79	92	527.86	1234.65	42693.49
Octubre	1793.98	32140.69	6287.32	92	527.86	1157.00	41998.86
Noviembre	1742.73	32140.69	6106.37	92	527.86	1118.17	41727.83
Diciembre	1691.47	32140.69	6265.79	92	527.86	1079.35	41797.16



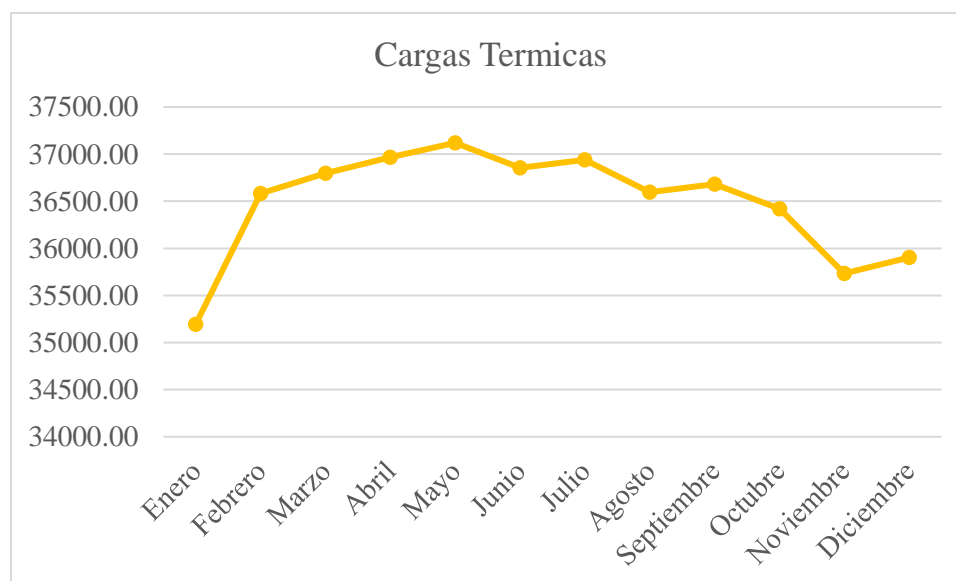
**Figura A2.16** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pescado (Elaboración propia)



## Cargas Térmicas para Quintana Roo

*Tabla A2.17 Cargas Térmicas en Quintana Roo para la Carne de Pollo (Elaboración propia)*

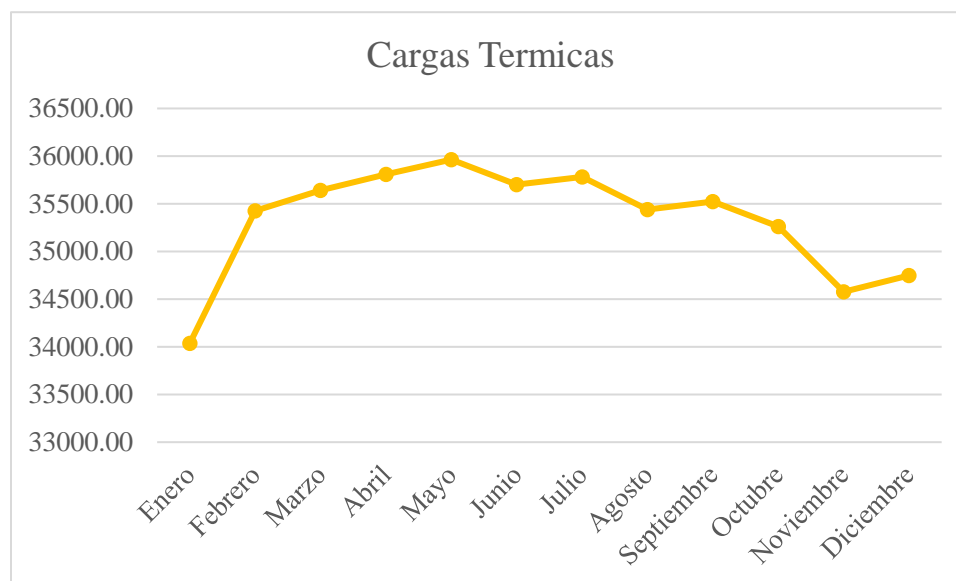
Meses Quintana Roo	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pollo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1537.70	25974.94	5936.07	92	527.86	1124.45	35193.02
Febrero	1896.50	25974.94	6856.34	92	527.86	1234.65	36582.29
Marzo	1999.01	25974.94	6891.98	92	527.86	1312.30	36798.09
Abril	2050.27	25974.94	6969.13	92	527.86	1351.13	36965.33
Mayo	1999.01	25974.94	7213.36	92	527.86	1312.30	37119.48
Junio	1896.50	25974.94	7130.12	92	527.86	1234.65	36856.07
Julio	1896.50	25974.94	7213.36	92	527.86	1234.65	36939.31
Agosto	1845.24	25974.94	6960.81	92	527.86	1195.83	36596.68
Septiembre	1845.24	25974.94	7044.99	92	527.86	1195.83	36680.86
Octubre	1793.98	25974.94	6872.75	92	527.86	1157.00	36418.54
Noviembre	1742.73	25974.94	6276.68	92	527.86	1118.17	35732.38
Diciembre	1742.73	25974.94	6446.99	92	527.86	1118.17	35902.69



*Figura A2.17 Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pollo (Elaboración propia)*

**Tabla A2.18** Cargas Térmicas en Quintana Roo para la Carne de Cerdo (Elaboración propia)

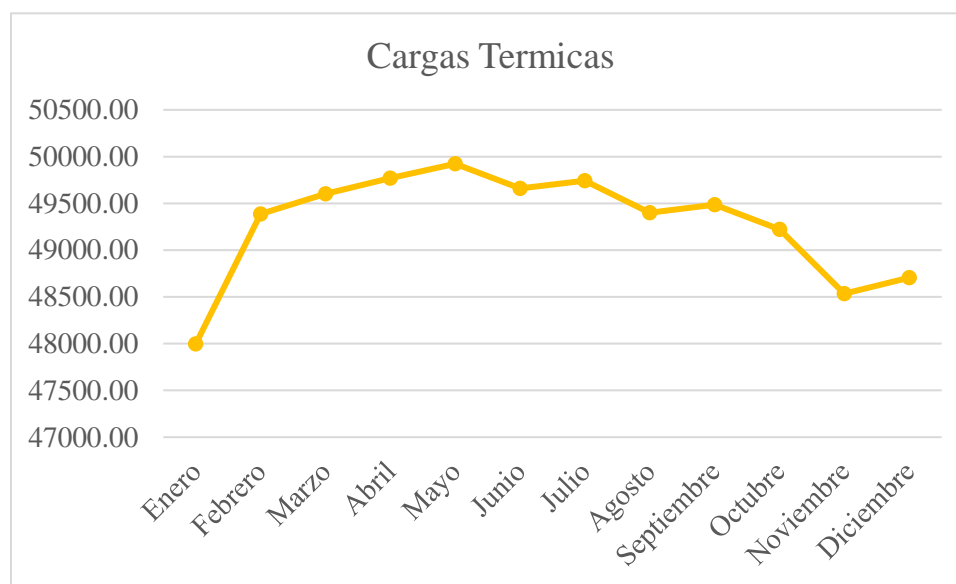
Meses Quintana Roo	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Cerdo)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1537.70	24819.35	5936.07	92	527.86	1124.45	34037.43
Febrero	1896.50	24819.35	6856.34	92	527.86	1234.65	35426.70
Marzo	1999.01	24819.35	6891.98	92	527.86	1312.30	35642.50
Abril	2050.27	24819.35	6969.13	92	527.86	1351.13	35809.74
Mayo	1999.01	24819.35	7213.36	92	527.86	1312.30	35963.89
Junio	1896.50	24819.35	7130.12	92	527.86	1234.65	35700.48
Julio	1896.50	24819.35	7213.36	92	527.86	1234.65	35783.72
Agosto	1845.24	24819.35	6960.81	92	527.86	1195.83	35441.08
Septiembre	1845.24	24819.35	7044.99	92	527.86	1195.83	35525.27
Octubre	1793.98	24819.35	6872.75	92	527.86	1157.00	35262.95
Noviembre	1742.73	24819.35	6276.68	92	527.86	1118.17	34576.79
Diciembre	1742.73	24819.35	6446.99	92	527.86	1118.17	34747.10



**Figura A2.18** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Cerdo (Elaboración propia)

**Tabla A2.19** Cargas Térmicas en Quintana Roo para la Carne de Bovino (Elaboración propia)

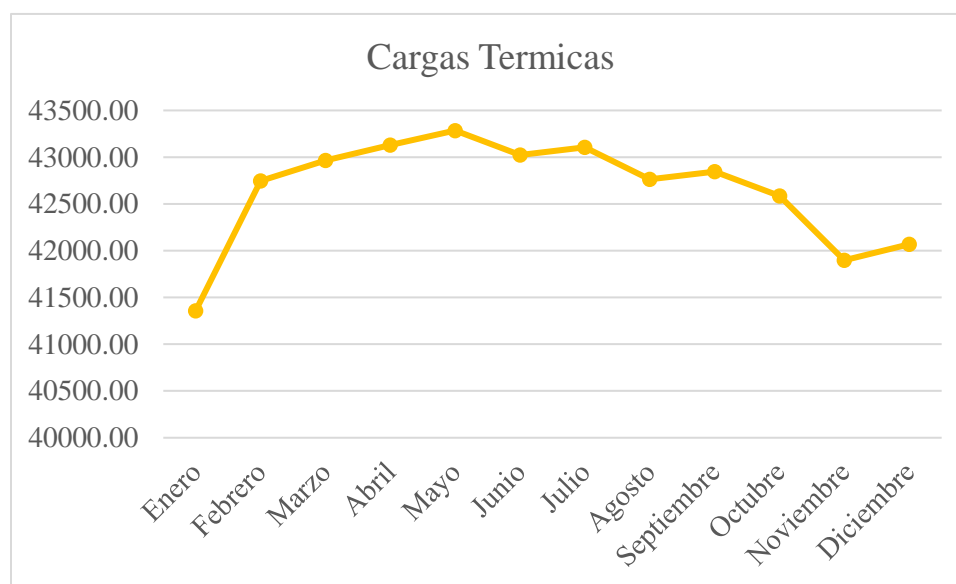
Meses Quintana Roo	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Bovino)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1537.70	38778.528	5936.07	92	527.86	1124.45	47996.61
Febrero	1896.50	38778.528	6856.34	92	527.86	1234.65	49385.87
Marzo	1999.01	38778.528	6891.98	92	527.86	1312.30	49601.68
Abril	2050.27	38778.528	6969.13	92	527.86	1351.13	49768.92
Mayo	1999.01	38778.528	7213.36	92	527.86	1312.30	49923.06
Junio	1896.50	38778.528	7130.12	92	527.86	1234.65	49659.66
Julio	1896.50	38778.528	7213.36	92	527.86	1234.65	49742.90
Agosto	1845.24	38778.528	6960.81	92	527.86	1195.83	49400.26
Septiembre	1845.24	38778.528	7044.99	92	527.86	1195.83	49484.45
Octubre	1793.98	38778.528	6872.75	92	527.86	1157.00	49222.12
Noviembre	1742.73	38778.528	6276.68	92	527.86	1118.17	48535.97
Diciembre	1742.73	38778.528	6446.99	92	527.86	1118.17	48706.28



**Figura A2.19** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Bovino (Elaboración propia)

**Tabla A2.20** Cargas Térmicas en Quintana Roo para la Carne de Pescado (Elaboración propia)

Meses Quintana Roo	Carga térmica de los muros	Carga térmica del producto (Pescado)	Carga térmica por infiltración	Carga térmica por alumbrado	Carga térmica por equipo	Carga térmica por efecto solar	Total [Watts]
Enero	1537.70	32140.691	5936.07	92	527.86	1124.45	41358.77
Febrero	1896.50	32140.691	6856.34	92	527.86	1234.65	42748.04
Marzo	1999.01	32140.691	6891.98	92	527.86	1312.30	42963.84
Abril	2050.27	32140.691	6969.13	92	527.86	1351.13	43131.08
Mayo	1999.01	32140.691	7213.36	92	527.86	1312.30	43285.23
Junio	1896.50	32140.691	7130.12	92	527.86	1234.65	43021.82
Julio	1896.50	32140.691	7213.36	92	527.86	1234.65	43105.06
Agosto	1845.24	32140.691	6960.81	92	527.86	1195.83	42762.42
Septiembre	1845.24	32140.691	7044.99	92	527.86	1195.83	42846.61
Octubre	1793.98	32140.691	6872.75	92	527.86	1157.00	42584.29
Noviembre	1742.73	32140.691	6276.68	92	527.86	1118.17	41898.13
Diciembre	1742.73	32140.691	6446.99	92	527.86	1118.17	42068.44



**Figura A2.20** Cargas Térmicas Totales por Mes para Carne de Pescado (Elaboración propia)

---

## REFERENCIAS

- [1]. Weather Spark. (s.f.). El clima promedio Quintana Roo. Recuperado 19 de septiembre de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/10033/Clima-promedio-en-Quintana-Roo-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [2]. Weather Spark. (s.f.). El clima promedio Tabasco. Recuperado 19 de septiembre de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/10033/Clima-promedio-en-Tabasco-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [3]. Weather Spark. (s.f.). El clima promedio Yucatán. Recuperado 19 de septiembre de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/10033/Clima-promedio-en-Yucatán-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [4]. Weather Spark. (s.f.). El clima promedio Campeche. Recuperado 19 de septiembre de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/10033/Clima-promedio-en-Campeche-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [5]. Weather Spark. (s.f.). El clima promedio Chiapas. Recuperado 19 de septiembre de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/10033/Clima-promedio-en-Campeche-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [6]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (s.i.a.p). (2019, julio 25). Agricultura protegida: Presente en 30 estados del país. Recuperado 19 de agosto de 2020, de <https://www.gob.mx/siap/articulos/agricultura-prottegida-presente-en-30-estados-del-pais?idiom=es>
- [7]. Alonso Morales, et. al (2019, septiembre). Ficha técnica del tren Maya. Recuperado 19 de agosto de 2020, de <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/content/download/160440/801949/file/Ficha%20Técnica%20Tren%20Maya.pdf>
- [8]. U.I.S (2018, febrero 27). Guía de almacenamiento seco, refrigerado y congelado. Recuperado 19 de agosto de 2020, de [https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/bienestar\\_estudiantil/guias/GBE.27.pdf](https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/bienestar_estudiantil/guias/GBE.27.pdf)
- [9]. Yunes A Cengel y Michael A Boles,(2012). Cap. 11 Ciclos de refrigeración, séptima edición. Recuperado 19 de agosto de 2020, de <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>
- [10]. PROCOL (2014, diciembre). Logística y cadena de frío. PDF. Recuperado 21 agosto 2020.
- [11]. Martínez (2019), Sistemas de refrigeración por compresión. PDF. Recuperado 24 agosto 2020.

- [12]. Manual de buenas prácticas en refrigeración/textos: Urrego Rodríguez, Carlos; revisión técnica: Isaza Roldán, César Alejandro; Unidad Técnica Ozono Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014. 124 p. : il + 1disco en bolsillo: “Manual de buenas prácticas en refrigeración” (DVD interactivo compatible Windows y Mac) Recuperado 30 de agosto de 2020, de <http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeraci%C3%B3n.pdf>
- [13]. DORFRIG (2018, junio) Características y funcionamiento de una cámara frigorífica industrial. Recuperado 10 septiembre 2020 <https://doorfrig.com/caracteristicas-funcionamiento-camara-frigorifica-industrial/>
- [14]. Polifert (2019, abril). La cámara frigorífica industrial: características y funcionamiento. Recuperado 10 septiembre 2020 <https://www.polifret.es/funcionamiento-camara-frigorifica-industrial/>
- [15]. Flores, A. (2011). Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones. Recuperado en 12 septiembre 2020 de: <https://www.grupounamacor.com/aislamiento-termico-tipos-y-recomendaciones/>
- [16]. Ficha técnica- R-134a (2019). PDF. Recuperado 15 septiembre 2020.
- [18]. Guanipa R. (2010, mayo) “sistemas de refrigeración”. Recuperado 29 septiembre 2020. <https://xdoc.mx/documents/sistemas-de-refrigeracion-607519a2a41b0>
- [19]. COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS (2015, marzo). Composición de la carne. Recuperado 14 octubre 2020. [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html)
- [20]. Pérez (junio, 2018). Clasificación de carnes rojas. Recuperado 19 octubre 2020 <https://blog.corteselecto.com/cuales-son-las-carnes-rojas/>
- [21]. Fernández Gonzales (2010, octubre). Evaluación comparativa de la aceptación de la carne de cordero contra la carne de res en el estado de nuevo león, México. Recuperado 28 octubre 2020. <https://core.ac.uk/download/pdf/76592421.pdf>
- [22]. Araneda (2020, junio). Carnes y derivados. Composición y propiedades. Recuperado 28 octubre 2020 <https://www.edualimentaria.com/carnes-cecinas-composicion-propiedades>
- [23]. DIREPRO (2018). Características organolépticas del pescado fresco y putrefacto. Recuperado 28 octubre 2020. [http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA\\_OTRO/difusion-publicaciones/2a-Cartilla%20CaracteristicasdelPescado-a-emb.pdf](http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/difusion-publicaciones/2a-Cartilla%20CaracteristicasdelPescado-a-emb.pdf)
- [24]. Servicios de calidad de alimentos y normas alimentarias (2017). Directrices para la inspección de pescado basada en los riesgos. Recuperado 10 noviembre 2020. <http://www.fao.org/3/i0468s/i0468s.pdf>
- [25]. Moreno R. (2005). Calidad de la carne de pollo (y II). Recuperado el 15 noviembre 2020 de: <1644-calidad-de-la-carne-de-pollo-y-ii.pdf>.

- [26]. Arriola (2019). Contenedores frigoríficos. Recuperado 19 noviembre 2020. <https://logisber.com/blog/contenedor-frigorifico>
- [27]. Suarez. (2016). Container refrigerado. Recuperado 19 noviembre 2020 <https://www.gruasyaparejos.com/contenedores-maritimos/container-refrigerado/>
- [28]. INTARCON (2016). Elegir adecuadamente el gas refrigerante para tu equipo. Recuperado 23 noviembre 2020. <https://www.intarcon.com/elegir-gas-refrigerante-segun-equipo-refrigeracion/>
- [29]. Priiego (2019, octubre). La elección de los refrigerantes. Recuperado 23 noviembre 2020. <http://ata-medical.com/2019/07/03/la-eleccion-de-los-refrigerantes/>
- [30]. Martínez (2020, agosto). Diseño de Sistema de Climatización Sustentable-Investigación.PDF Recuperado 12 febrero 2021.
- [31]. Covarruvias Cuevas (c.c.), Pérez Moreno (p.m), Simon Gonzales (s.g), Velazques Martinez (v.m). Diseño de una cámara frigorífica.PDF Recuperado 22 marzo 2021.
- [32]. I. Pereira, V. D. F., Doria, E. C. B., Carvalho Júnior, B. D. C., Neves Filho, L. D. C., & Silveira Júnior, V. (2010). Evaluation of temperatures in a refrigerated container for chilled and frozen food transport. *Food Science and Technology*, 30, 158-165. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000100024>
- [33]. Jaramillo (2007, noviembre), INTERCAMBIADORES DE CALOR. <https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>. Recuperado 20 enero 2022
- [34]. GONZÁLEZ VALIENTE (2015, marzo) Condensadores, <https://frigoristas.wordpress.com/condensadores/>, Recuperado 20 enero 2022
- [35]. CLIMA.DATA.ORG, Clima Tabasco Villahermosa, <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/tabasco/villahermosa-3372/>, Recuperado 06/03/2022
- [36]. CLIMA.DATA.ORG, Clima Palenque Chiapas, <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/palenque/chiapas-3372/>, Recuperado 06/03/2022
- [37]. CLIMA.DATA.ORG, Clima Yucatan Merida, <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/yucatan/merida-3372/>, Recuperado 06/03/2022
- [38]. CLIMA.DATA.ORG, Clima Campeche, <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/campeche-3372/>, Recuperado 06/03/2022
- [39]. CLIMA.DATA.ORG, Clima Quintana Roo, <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/quintana/roo-3372/>, Recuperado 06/03/2022
- [40]. Ma. Teresa Sánchez, Pineda de las infantas. (2001). Ingeniería del frio teoría y práctica. Primera edición.
- [41]. Energía solar (2019) ¿Qué es y cómo se produce la energía solar?, <https://solar-energia.net/> Recuperado 19/03/22

- [42]. Miguel Alonso Albella, Sistemas fotovoltaicos <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45335.pdf>, Recuperado 19/03/2022
- [43]. Ormaechea Ballesteros (febrero, 2012) ANÁLISIS COMPARATIVO DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE CONEXIÓN A RED CON POTENCIA IGUAL O SUPERIOR A 100 kw, <https://core.ac.uk/download/pdf/29403429.pdf> Recuperado 19/03/2022
- [44]. Puma Zúñiga (noviembre 2018), Sistema fotovoltaico para una cámara fría para almacenamiento de pitahaya para el Centro Agrícola Cantonal del Ten. PDF. Recuperado 21/03/2022
- [45]. Catalogo 2020 energía innovadora, empresa de energías renovables. <https://www.energiainnovadora.com/wp-content/uploads/2020/11/catalogo-energia-solar-2020-VERSION-A.pdf>
- [46]. Marcelo H (2010). Composición nutricional de la carne de pescados y mariscos. Características diferenciales, <http://fanus.com.ar/archivos/15-11-13/Caracter%C3%ADsticas%20nutricionales%20de%20la%20carne%20de%20pescado%20-%20Ing.%20Zootecnista%20Marcelo%20H.%20Arias.pdf>
- [47]. Avicola Las pechugas de madera en el sector del pollo, <https://avicultura.com/las-pechugas-de-madera-en-el-sector-del-pollo/>
- [48]. Rodríguez de Rivera (2019), [https://www.elespanol.com/ciencia/nutricion/20190815/puedes-saber-carne-compras-super-buena-calidad/421208678\\_0.html](https://www.elespanol.com/ciencia/nutricion/20190815/puedes-saber-carne-compras-super-buena-calidad/421208678_0.html)