

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONTENERIZACIÓN
EVALUANDO LAS NECESIDADES TÉRMICAS DE PRODUCTOS
PERECEDEROS**

POR

LILIANA MARÍA BERMÚDEZ CORREA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAestrÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

SEPTIEMBRE, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONTENERIZACIÓN
EVALUANDO LAS NECESIDADES TÉRMICAS DE PRODUCTOS
PERECEDEROS**

POR

LILIANA MARÍA BERMÚDEZ CORREA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAestrÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

SEPTIEMBRE, 2017

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Mejoramiento del proceso de contenerización evaluando las necesidades térmicas de productos perecederos», realizada por el alumno Liliana María Bermúdez Correa, con número de matrícula 1833266, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

Jania Astrid Saucedo

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

Asesor



Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

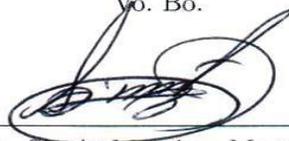
Revisor



MIE. Antonio Rafael Osuna Barrón

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, septiembre 2017

A Dios.

*A mi adorada familia.
la distancia nos separa pero el amor nos mantiene unidos.*

*A mi amado esposo,
compañero incondicional de vida.*

*Ustedes son mi felicidad, mi fortaleza y sueños.
Los amo profundamente.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XI
Resumen	XII
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	4
1.5. Metodología	5
1.6. Estructura de la tesis	5
2. Antecedentes	6
2.1. Panorama del manejo de alimentos en el mundo	6
2.2. Cadena de frío	8
2.2.1. Eslabones de la cadena de frío	8
2.2.2. El frío como efecto conservante	11

2.3. Medición y control de temperatura	12
2.3.1. Transferencia de calor	13
2.4. Transporte frigorífico	15
2.4.1. Circulación del aire	17
2.4.2. Unitarización y consolidación de carga	18
2.4.3. Compatibilidad de alimentos	23
2.5. Selección de método matemático	27
2.5.1. Problemas de Corte y Empaque	28
2.6. Selección de método para el análisis térmico	36
3. Metodología	39
3.1. Fase 0: Investigación exploratoria	39
3.2. Fase 1: Modelación matemática	40
3.2.1. Definición del problema	42
3.2.2. Formulación del modelo	43
3.3. Fase 2: Análisis de transferencia de calor	45
3.3.1. Análisis de compatibilidad	45
3.3.2. Análisis térmico	47
4. Experimentación y resultados	49
4.1. Modelación para consolidación de carga	49
4.1.1. Experimentaciones con contenedor de 20'	50

4.1.2. Experimentaciones con contenedor de 40'	52
4.2. Análisis del flujo de calor	54
4.2.1. Análisis de compatibilidad	55
4.2.2. Análisis térmico	56
5. Conclusiones	61
5.1. Principales aportaciones	62
5.2. Trabajo futuro	64
A. Anexos	65
A.1. Anexo 1	65
A.2. Anexo 2	65

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Destino de la producción de perecederos	7
2.2. Cadena de frío típica	10
2.3. Esquema operativo de la cadena de frío	11
2.4. Pérdida de sacarosa debido a altas temperaturas	12
2.5. Caracterización de productos vegetales	16
2.6. Circulación del aire	17
2.7. Tipos de estiba en bloque	21
2.8. Ejemplo de carga estibada en tarima (<i>pallet</i>)	22
2.9. Corte de tubos	29
2.10. Carga de contenedores	30
2.11. Patrón de embalaje para instancia 1	34
2.12. Ejemplo de termografía infrarroja	36
3.1. Resumen de metodología	41
3.2. Modelo de paletizado dentro de un contenedor refrigerado de 20'	46
3.3. Evaluación de transferencia de calor	48

4.1. Extracto de la tabla de grupos de compatibilidad de alimentos	56
4.2. Contenerización producto tipo A	57
4.3. Contenerización producto tipo A y B	58
A.1. Cálculo lado derecho (I) y lado izquierdo (I') solo con producto A . .	66
A.2. Cálculo puerta (II) y parte trasera (II') solo con producto A	67
A.3. Cálculo techo (III) y suelo (III') solo con producto A	68
A.4. Cálculo lado derecho (I) y lado izquierdo (I') Productos AB	69
A.5. Cálculo puerta (II) y parte trasera (II') Productos AB	70
A.6. Cálculo techo (III) y suelo (III') Productos AB	71
A.7. Capacidad de enfriamiento	72

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Fuentes de calor en un contenedor	19
2.2. Grupos de compatibilidad de alimentos	27
2.3. Estructura de la tipología de problemas CyP	31
2.4. Nociones asignadas a los tipos de combinación correspondientes . . .	32
4.2. Resultados óptimos en contenedor de 20'	51
4.1. Medidas Contenedor refrigerado de 20' Hapag-Lloyd	51
4.3. Medidas Contenedor refrigerado de 40' <i>HC</i> Hapag-Lloyd	52
4.4. Resultados óptimos en contenedor de 40' <i>HC</i>	53
4.5. Resultados óptimos en contenedor de 20' utilizando Europalet	54
4.6. Proceso de transferencia de calor para producto tipo A y AB	58

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a cada una de las personas que hicieron parte de este maravilloso proceso, el cual me hizo crecer tanto a nivel profesional, cultural como personal. Un gran reto lleno de momentos difíciles pero siempre acompañada del amor de mi familia y amigos.

Gracias a todos mis maestros por compartir sus conocimientos y habilidades.

A la Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez, quien fuera mi asesora durante estos dos importantes años y a mis revisores, la Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa y el M.C. Antonio Rafael Osuna Barrón, por ayudarme a finalizar con éxito este trabajo. Siempre contarán con mi respeto y total admiración.

Gracias a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a la Universidad Autónoma de Nuevo León, por brindar oportunidades de estudio a una juventud ansiosa de conocimiento y al Conacyt por su apoyo económico con miras al fortalecimiento de profesionales en México.

Mis más sinceros agradecimientos.

RESUMEN

Liliana María Bermúdez Correa.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.h

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONTENERIZACIÓN EVALUANDO LAS NECESIDADES TÉRMICAS DE PRODUCTOS PERECEDEROS.

Número de páginas: 76.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Del total de la producción mundial de perecederos solo el 10% es objeto de comercio internacional, 30% se pierde en la poscosecha y el 60% es consumido dentro del país de origen. Es determinante entonces, mejorar los diferentes procesos de conservación existentes dentro de la cadena de frío, ya que deber ser tratada de manera cuidadosa pero eficiente, para concluir con éxito su distribución hasta el consumo final. Estos productos deben ser enviados en condiciones estrictamente controladas de temperatura y almacenamiento, por lo cual el uso de contenedores refrigerados es indispensable.

La presente investigación propone una aplicación del Pallet Loading Problem (PLP) para el proceso de contenerización. Se desea empaquetar un número limitado de *pallets* rectangulares dentro de un contenedor refrigerado, con la finalidad de ma-

ximizar su capacidad de carga. La programación entera mixta (MIP, por sus siglas en inglés) se resuelve de forma exacta usando GAMS/CPLEX, aproximando al contenedor una cuadrícula y considerando los nodos de la misma como posibles posiciones para asignar centros de los *pallets* rectangulares. A partir del diseño generado por el modelo se analiza la transferencia de calor presente al utilizar un producto como aislante de otro que permita la reducción del consumo energético por medio de una plantilla diseñada en Excel.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Durante el transcurso de esta investigación se trató de consolidar y ampliar los conocimientos sobre la optimización del área útil de un contenedor y de las propiedades térmicas de los alimentos transportados, identificando las ventajas que los mismos pueden brindar a las empresas.

Se logró demostrar que al efectuar un apropiado proceso de contenerización y posteriormente realizar un acomodo adecuado de los productos perecederos, de manera que, un producto actúe como aislante térmico del otro dentro de un contenedor refrigerado, se reduce el consumo energético y por consiguiente su valor monetario, mejorando de esta manera la rentabilidad y tiempos de transporte.

Firma del asesor: _____

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Dentro de los diversos tipos de productos que se comercian a nivel mundial se encuentran los perecederos, aquellos que con el transcurrir del tiempo se descomponen o degradan su calidad, ya sea de manera rápida, en cuestión de días; o de manera lenta, durante años. A lo largo de la historia se han diseñado equipos y procesos de gestión con miras a mejorar los diferentes procesos de conservación existentes.

La cadena de frío, es aquella sucesión de procesos logísticos que permiten garantizar el mantenimiento de la temperatura y evitar la proliferación de microorganismos dañinos durante la producción, almacenaje, distribución, embalaje, transporte y consumo final; ayudando a mitigar riesgos para la salud humana y alargar la durabilidad de los alimentos, especialmente durante el transporte. Este por su parte está constituido por el cargue, descargue, manipulación y almacenamiento, jugando un papel importante dentro de la cadena de frío, dado que se encuentra presente en diversos puntos de la misma, exigiendo un estricto control y manipulación, ya que factores externos pueden minimizar la idoneidad del medio utilizado.

La mayoría de los alimentos que son objeto de comercio internacional son transportados dentro de contenedores refrigerados, los cuales permiten mantener y/o controlar la temperatura adecuada y de esta manera conservar las propiedades químicas y organolépticas de los productos.

En concordancia con lo anterior, esta investigación aborda específicamente el proceso de contenerización de productos perecederos, aprovechando las variaciones de temperatura presentes en el interior de contenedores refrigerados, aspecto que en la actualidad es visto como un «problema» y no como un área de oportunidad.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cada tipo de mercancía puede establecer procedimientos y/o manejos diferentes acordes a sus necesidades, especialmente los productos perecederos, los cuales degradan su calidad con el tiempo y deben ser manejados en forma cuidadosa pero eficiente; ya que necesitan llegar del productor al consumidor cuando aún estén en condiciones de uso. Cualquier empresa que negocia con carga perecedera necesita un método rentable para transportarla antes de su deterioro. Estos productos deben ser enviados en condiciones estrictamente controladas de temperatura y almacenamiento, por lo cual el uso de contenedores refrigerados es indispensable.

El control de la temperatura y la existencia de cadena de frío, son indispensables para la conservación de los productos perecederos; de acuerdo a Sanz (2012), la pérdida de la temperatura óptima de refrigeración o congelación en cualquiera de las etapas perjudica la seguridad y la calidad del alimento que finalmente va a ser consumido. De igual manera la compatibilidad de los productos transportados es una restricción que muchas empresas olvidan, afectando las propiedades organolépticas de los alimentos o simplemente generando su pérdida.

El modo de acondicionamiento o contenerización de los productos es sumamente importante y más cuando se trata de alimentos refrigerados o congelados, los cuales requieren un espacio adecuado para la circulación del aire frío (Sarroca y Torres, 2006). Dentro de un contenedor refrigerado se pueden presentar variaciones de temperatura, es decir, existen zonas más cálidas y otras más frías, convirtiéndose esta situación en un factor crítico durante la transportación, por ende la temperatura

de carga y la del producto real varían, dificultando la homogeneidad de esta dentro del contenedor (Jiménez Ariza *et al.*, 2011).

Por otra parte los alimentos perecederos requieren diferentes niveles de temperatura, es por ello que el diseño de la logística del producto debe realizarse por temperaturas y no por tipo de alimentos (Valdés Arrieta, 2010), teniendo en cuenta el estado actual de preservación de los mismos.

Con base en lo anterior, se genera la inquietud de cómo se deben acomodar correctamente los productos perecederos dentro del contenedor, de tal manera que no se desperdicie espacio, y a partir de la combinación de dos productos ubicados estratégicamente, evaluar el comportamiento térmico teniendo en cuenta las limitantes de temperatura, tanto de los productos como de las variaciones al interior del contenedor, aprovechando al máximo las semejanzas y diferencias entre los mismos.

Durante el transcurso de esta investigación se pretende responder el siguiente interrogante: ¿Cómo se puede mejorar el proceso de contenerización de productos perecederos teniendo en cuenta el espacio dentro del contenedor, sus necesidades térmicas y la compatibilidad de alimentos?

1.2 OBJETIVO

Reducir el consumo de energía dentro de un contenedor refrigerado por medio de la combinación de dos productos, empleando un modelo matemático para contenerizar los embalajes.

1.3 HIPÓTESIS

Realizando un adecuado proceso de contenerización y utilizando un producto como aislante de otro dentro de un contenedor refrigerado se reducirá el consumo de

energía, mejorando la rentabilidad y tiempos de transporte.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La Pérdida y Desperdicio de Alimentos (PDA) entendida como «*la disminución de la masa de alimentos para el consumo humano en cualquier punto de la cadena productiva*» (Rodríguez *et al.*, 2014), se presenta desde la producción hasta el consumo, dependiendo del manejo que cada uno de los grupos de interés a lo largo de la cadena de valor le otorgue.

Entre las principales causas se encuentran el nivel de capacitación sobre el momento ideal para la cosecha de cada producto, así como en tecnologías de pre-cosecha y poscosecha; manipulación de los productos; disponibilidad, condiciones y horarios de transporte; compatibilidad de los productos transportados; temperatura ambiente y existencia de cadena de frío; calidad, costos y manejo de los envases; infraestructura y nivel tecnológico de las plantas; distancia entre plantas, unidades productivas y puntos de venta (Rodríguez *et al.*, 2014).

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), aproximadamente un tercio de los alimentos producidos anualmente para el consumo humano se pierde o desperdicia a lo largo de la cadena de frío (Gustavsson *et al.*, 2012). Esta cifra se podría reducir sí en aquellos países en vía de desarrollo, que comúnmente son los mayores productores de alimento, se contara con los equipos adecuados de refrigeración, infraestructura, tecnología y una buena capacitación al personal manipulador (Rodríguez *et al.*, 2014), pero más importante aún, es diseñar una adecuada gestión de dichos equipos, aprovechando al máximo la capacidad y aminorando sus limitaciones, como es el caso de los contenedores refrigerados. Es por ello que realizar un proceso eficiente de contenerización de productos perecederos, en concordancia con los factores internos y externos que afectan su capacidad y desempeño, permitiría reducir su pérdida durante el transporte.

1.5 METODOLOGÍA

La investigación se inicia de manera exploratoria; se realiza una exhaustiva revisión documental sobre conceptos, pesquisas, y archivos relacionados al concepto de producto perecedero y el uso de contenedores refrigerados en la cadena de frío, con la finalidad de obtener una visión general de tipo aproximativo respecto al tema. Posteriormente se analiza la compatibilidad de productos de origen vegetal con base en características de temperatura, humedad relativa y propiedades organolépticas para diseñar tipos de unitarización. De esta manera se define un modelo matemático de programación lineal entero a partir de las restricciones y variables identificadas durante la investigación que apoye el proceso de contenerización de productos perecederos en contenedores refrigerados para finalmente evaluar la transferencia de calor.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis consta de cinco capítulos. Dentro de la introducción se describe el problema que se pretende abordar y por qué es importante realizarlo, de igual manera se define el objetivo de la investigación, la hipótesis a demostrar y una breve introducción acerca de la metodología propuesta para resolverlo. Dentro de los antecedentes se abordan los principales conceptos relacionados a la cadena de frío y su correcta gestión. En el capítulo de metodología se describe el proceso realizado para lograr el objetivo, así como las herramientas o métodos utilizados. En el capítulo de experimentación y resultados, se muestra el proceso llevado a cabo para realizar la contenerización óptima y el subsiguiente análisis térmico, así como los resultados obtenidos a partir del mismo. Finalmente se describen las conclusiones de la investigación y las aportaciones hechas a la cadena de frío con esta investigación.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

El presente capítulo engloba los principales antecedentes tomados en consideración para lograr acomodar productos perecederos dentro de un contenedor refrigerado. Se presenta tanto el panorama actual del uso de cadenas de frío en la industria como su definición y etapas. De igual manera se indaga acerca de los principales factores que se deben tener en cuenta a la hora de realizar un proceso de contenerización, tales como la transferencia de calor, la circulación del aire y la compatibilidad de alimentos. Finalmente se estudian los posibles métodos de solución para el problema planteado dentro de esta investigación.

2.1 PANORAMA DEL MANEJO DE ALIMENTOS EN EL MUNDO

Como lo menciona ProColombia (2014), la población se centraliza cada vez más en las grandes ciudades y la economía mundial sigue en aumento, es por ello que diseñar una red óptima de abastecimiento con procesos adecuados de poscosecha, manipulación, transporte y control de temperatura se hace necesario para satisfacer las necesidades de los consumidores finales y evitar su pérdida.

La FAO estima que cerca de 1300 toneladas de alimentos producidos al año se

pierden o desperdician a lo largo de toda la cadena de suministro, es decir, desde la producción agrícola hasta el consumo final (Gustavsson *et al.*, 2012). Es importante resaltar que en países con ingresos altos los productos se dañan, en mayor medida, durante la fase final de consumo; mientras que en países con ingreso bajo la pérdida se presenta durante las primeras etapas, excepto durante el consumo final. Varios expertos concuerdan en que la pérdida de alimento después de la cosecha se podría reducir si en aquellos países en vía de desarrollo, que comúnmente son los mayores productores de alimento, se contará con los equipos adecuados de refrigeración, infraestructura, tecnología y personal capacitado (Rodríguez *et al.*, 2014).

Navarro (2013) por su parte menciona que de la producción total de alimentos en el mundo solo el 10% es objeto de comercio exterior, el 30% se pierde después de la cosecha y el 60% se consume localmente como se muestra en la figura 2.1.

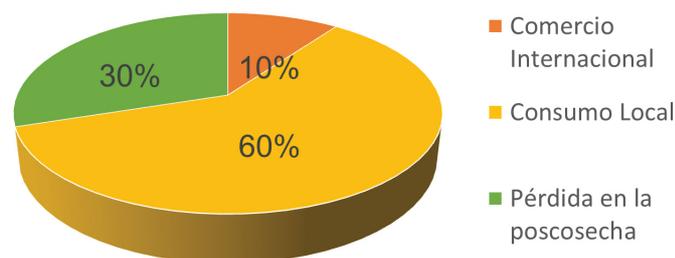


Figura 2.1: Destino de la producción de perecederos (Navarro, 2013).

Observando las cifras de la figura 2.1, se percibe una fuerte preocupación mundial por la manera en que se gestiona la cadena de frío, ya que de ser efectiva la pérdida y desperdicio se puede reducir, aumentando tanto la calidad como la durabilidad de los alimentos por largos periodos de tiempo.

2.2 CADENA DE FRÍO

La industria de alimentos refrigerados o congelados ha ido creciendo rápidamente en los últimos años, generando la necesidad de una gestión efectiva de su logística que permita el consumo seguro de los mismos; para lograrlo es necesario desarrollar la cadena de frío, termino usualmente utilizado para referirse a la serie de operaciones interdependientes en la producción, distribución, almacenamiento y venta de productos refrigerados o congelados (Asadi *et al.*, 2014).

Otra definición hace referencia a la cadena de frío como el proceso mediante el cual se ejerce un control sobre el almacenamiento y transporte de productos para mantener determinados niveles de temperatura (Bentancourt *et al.*, 2009); sin embargo, la definición que podría englobar el significado de cadena de frío consiste en «*la sucesión de procesos logísticos (producción, almacenaje, distribución, embalajes, transporte, carga y descarga, venta directa) con una temperatura y humedad relativa controlada, desde el momento inicial de la producción hasta el consumidor final*»(ProColombia, 2014).

La cadena de frío es indispensable para la conservación de productos perecederos, que en concordancia con Christiansen (2016), son aquellos que tienen un tiempo de vida corto (se deterioran fácilmente). Este tipo incluye alimentos frescos, productos lácteos y productos farmacéuticos. Su corta duración complica la gestión de almacén, ya que deben ser procesados y pasar a través de la cadena de suministro para la venta antes de dañarse o perder valor. Estos productos deben ser sometidos a un proceso de refrigeración, congelación o ultra congelación, impidiendo la proliferación de microorganismos, la emisión de vapor de agua, calor, oxígeno y gas carbónico.

2.2.1 ESLABONES DE LA CADENA DE FRÍO

Mitcham (2011) advierte que el mantenimiento de la cadena de frío es fundamental para proteger tanto la calidad como la seguridad de los productos hortícolas, incluyendo frutas, verduras y plantas ornamentales, por lo que la gestión de la cadena de frío debe comenzar de inmediato a la poscosecha, pasando por el almacenamiento, procesamiento, distribución hasta concluir en el consumo final de los mismos.

Asadi *et al.* (2014) comentan que llevar un adecuado control de la temperatura en los productos perecederos, se logra por medio de la cadena de frío, un mejor diseño de equipos y un adecuado control de la calidad y seguridad durante su distribución. Los puntos de transferencia, por ejemplo, pasar el producto del refrigerador al almacén en frío, de la fábrica al vehículo de distribución, del mayorista al refrigerador de los consumidores, pueden llegar a considerarse puntos críticos.

La cadena de frío es un sistema y como tal está formado por etapas que permiten mantener la congelación o refrigeración de los alimentos para que finalmente lleguen de forma segura a los consumidores; estos pasos además, envuelven procesos y actividades específicas que aseguran su movimiento de etapa a etapa. En caso de fallar alguna de ellas, la integridad de las propiedades del producto se vería seriamente afectada, ya fuera por microorganismos o enzimas, produciendo la descomposición o inocuidad del alimento (Pelayo, 2008).

Ubiarco (2012) define que la «red de frío» está constituida por cuatro fases, las cuales tiene como objetivo entregar un producto con las características de inocuidad, calidad y oportunidad que el cliente solicita, además recalca que en medio de cada fase deben existir puntos de control y temperatura constante por tipo de producto. La primera llamada «plantas productivas», es donde se genera un producto de calidad, con un embalaje correcto y condiciones de procesos, almacenamiento y gestión de inventarios adecuados. La segunda, «distribución primaria», consiste en realizar un proceso de pre-enfriamiento, estabilizar la temperatura del producto con base en los

tiempos de trayecto y contar con equipos adecuados de transporte. En la tercera, «centros de venta», es indispensable determinar las condiciones de cargue y descargue para los mismos y los escenarios de almacenamiento controlados. Por último la cuarta fase, «distribución última milla», resalta la importancia de capacitar adecuadamente a los operadores de la red para finalmente ser entregados a los clientes, ya sean supermercados, tiendas de autoservicios, entre otros.

Asadi *et al.* (2014) proponen una cadena de frío típica donde se pueden observar de manera más concisa los puntos críticos donde la temperatura del producto se puede ver afectada como se aprecia en la figura 2.2.

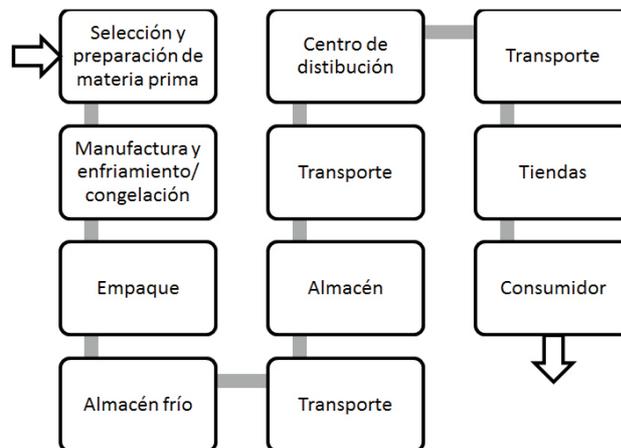


Figura 2.2: Cadena de frío típica (Asadi *et al.*, 2014)

Por otra parte ProColombia (2014) toma en consideración que la cadena de frío está constituida por almacenes situados en las plantas productoras, centros de distribución, manipulación de carga, selección de transporte, cadenas comerciales y finalmente la entrega del producto al consumidor final con control de temperatura.

Tomándose en consideración los elementos principales dentro de la cadena de frío se podrían resumir en cinco etapas como se muestra en la figura 2.3, donde también se identifican los puntos de control de temperatura y puntos críticos, siendo el transporte refrigerado el de mayor riesgo.



Figura 2.3: Esquema operativo de la cadena de frío

2.2.2 EL FRÍO COMO EFECTO CONSERVANTE

Como lo indica Pelayo (2008), el frío ha sido una técnica utilizada desde la antigüedad para preservar los alimentos, este impide la continuidad de la degradación metabólica de las proteínas presentes en los productos o las reacciones enzimáticas ya sea parcial o totalmente, permitiendo conservar sus propiedades organolépticas y calidad. Los microorganismos, en su mayoría, mueren cuando son expuestos a altas temperaturas (superiores a los 70°C), por el contrario, a bajas temperaturas simplemente se detiene su proliferación (Navarro, 2013).

De acuerdo con Ashby (1987), la pérdida de calidad está determinada tanto por el tiempo como por el uso inadecuado de la temperatura, aun cuando se dé durante periodos cortos, ya sea porque se encuentre demasiado alta o baja. Un ejemplo de esto es como los espárragos pueden presentar pérdidas de vitamina C debido a las altas temperaturas, o en el caso del maíz dulce presentarse una disminución de la

sacarosa como se ejemplifica en la figura 2.4.

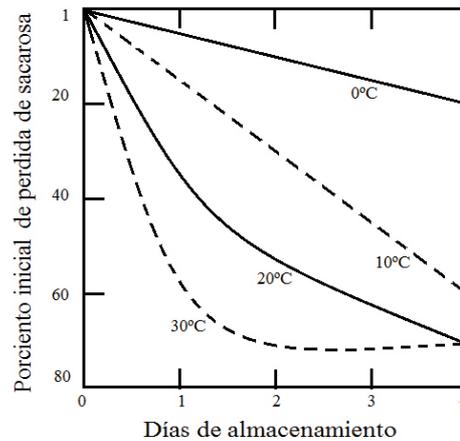


Figura 2.4: Pérdida de sacarosa debido a altas temperaturas (Ashby, 1987).

Es importante entender que la refrigeración elimina el exceso de calor y permite controlar la temperatura para los alimentos percederos, es decir, el calor siempre está presente, como «forma positiva y medible de energía que siempre irradia o fluye hacia la fuente de frío o refrigeración»(Ashby, 1987). Más adelante se abordará el concepto de transferencia de calor para entenderlo mejor.

2.3 MEDICIÓN Y CONTROL DE TEMPERATURA

La medición y control de la temperatura es una de las actividades más importantes dentro de la construcción de la cadena de frío, ya que permite garantizar una adecuada oscilación de temperatura para el producto. Dicha actividad constituye un registro de la temperatura de una muestra de la carga de productos percederos. Existen dos tipos de conservación a través del frío: la refrigeración (corto o medio plazo desde días hasta semanas) y la congelación (a largo plazo) (Pelayo, 2008).

El mantenimiento de los productos a la temperatura más baja posible reduce los cambios fisiológicos, tales como la pérdida de azúcares y ácidos, el crecimiento

de bacterias y hongos que pueden conducir a la descomposición activa, pérdida de agua, encogimiento y el incremento de microorganismos patógenos. citepm11.

Barreiro y Robla (2004) indican que la alteración de la atmósfera al interior de los contenedores se emplea únicamente en recorridos largos de transporte, específicamente marítimos intercontinentales. Para conocer el comportamiento de la temperatura y mantener control sobre la misma es necesario definir aspectos relacionados al fenómeno de transferencia de calor presente en contenedores refrigerados.

2.3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

Çengel y Ghajar (2007) menciona que «el calor es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura», ya que no puede haber transferencia neta entre dos medios que están a la misma temperatura.

La temperatura es una magnitud física que hace alusión a la energía interna que tenga un cuerpo, mientras que el calor es energía en tránsito; permanentemente fluye de una zona de temperatura mayor a otra de temperatura menor, siempre que el volumen de los cuerpos se conserve constante (Inzunza *et al.*, 2012).

Inzunza *et al.* (2012) señala que al tener dos cuerpos de diferente temperatura y entrar en contacto se produce una transferencia de calor, la cual se puede presentar por tres mecanismos físicos:

- *Conducción*: «Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas»(Çengel y Ghajar, 2007). La razón (rapidez) de la conducción de calor mediante un medio depende de la configuración geométrica del mismo, su espesor y de qué material (el espacio entre sus moléculas o enlaces) esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a

través de él. Se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{cond} = -kA \left(\frac{dT}{dX} \right) \quad (2.1)$$

donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material multiplicada por el área (A) En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$; dT es la diferencia de la temperatura y dX el espesor.

- *Convección*: «es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro» (Inzunza *et al.*, 2012). La transferencia de calor H por convección se expresa en forma conveniente por la Ley de enfriamiento de Newton:

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en $\frac{Wm^2}{^\circ C}$, A_s es el área de la superficie por medio de la cual ocurre la transferencia de calor. T_s es la temperatura de la superficie y T es la temperatura del flujo alejado de esta.

- *Radiación*: «es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas (Çengel y Ghajar, 2007)». Cuando una superficie con emisividad ϵ y área superficial A_s que radia a una temperatura termodinámica T_s , está encerrada por completo por una superficie mayor, a una temperatura termodinámica T_{alred} , y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre las superficies se calcula como:

$$Q_{rad} = \epsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (2.3)$$

σ es la constante de Stefan Boltzmann.

Los tres mecanismos de transferencia de calor están presentes en un contenedor. La masa de los cuerpos (productos) contiene diferentes temperaturas tanto en el interior como en el exterior por lo que existe un flujo de calor, lo mismo ocurre en las superficies de los *pallets* contenerizados, ya que el aire refrigerado choca contra estos para enfriarlos, este tipo de mecanismo es denominado convección; por otra parte la radiación se presenta, ya que la temperatura y el color ocasionan que un cuerpo emita calor hacia las demás superficies.

Finalmente, otro punto relevante es la conductividad térmica de los cuerpos. Si se llegaran a contenerizar de manera estratégica productos con conductividades térmicas diferentes se podría utilizar la variable temperatura para mejorar la eficiencia térmica del contenedor, ya que el consumo del aire acondicionado que enfría los cuerpos sería proporcional, en cierta medida, a la temperatura interior y exterior del contenedor.

2.4 TRANSPORTE FRIGORÍFICO

De acuerdo con Renedo (2015), el transporte es esencial como eslabón en la cadena de frío; debe ser rápido, seguro y adaptable a las circunstancias inesperadas y permitir conservar las propiedades de los productos de manera continua y eficaz; es por ello que el desarrollar un diseño de transporte frigorífico exige conocer las características particulares de los productos a manipular, especialmente si se trata de frutas o verduras, como se muestra en la figura 2.5, ya que las necesidades de transporte varían de acuerdo a ellas. De igual manera recalca la importancia de mantener una temperatura óptima al interior del contenedor, realizar cálculos de ventilación y considerar la compatibilidad de olores entre los productos; además de protegerlos con un empaque y embalaje adecuados.

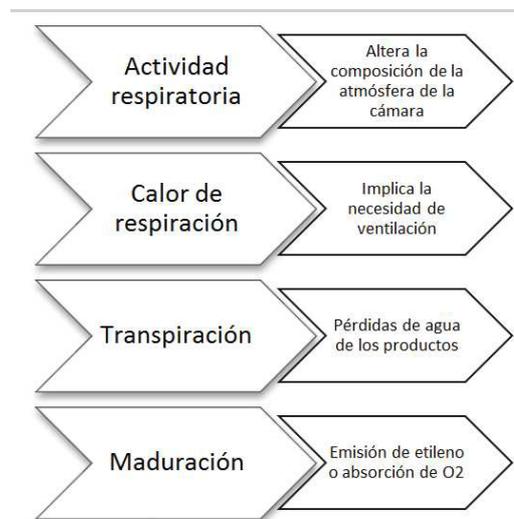


Figura 2.5: Caracterización de productos vegetales (Renedo, 2015).

Ashby (1987) por su parte, alude a que la capacidad de refrigeración necesaria para una carga particular depende de la temperatura ideal necesaria para el producto, el aislamiento del vehículo, la temperatura ambiente, la cantidad de calor por respiración del producto y la capacidad adicional (reserva) deseada; de acuerdo a esto se define qué tipo de contenedor y método de refrigeración utilizar.

A lo largo de los años se han utilizado diversos métodos de refrigeración para el transporte de perecederos, tales como el hielo, hielo y sal, hielo seco, sistemas de mantenimiento sobre placas, sistemas criogénicos y refrigeración mecánica.

De acuerdo con Ashby (1987), el método predominante es la refrigeración mecánica. Esta absorbe el calor de un determinado punto y lo libera en otro, haciendo circular un refrigerante entre los dos puntos: «El refrigerante recoge el calor a través de un serpentín (evaporizador) dentro del área de carga y lo descarga a través de otro serpentín (condensador) en el exterior. El refrigerante circula a través del sistema por un compresor, el cual es movido por gasolina, gasoil o un motor eléctrico».

Barreiro y Robla (2004) destacan que existen distintos tipos de contenedores de acuerdo con sus características térmicas, estos pueden dividirse en isotermos,

refrigerantes y frigoríficos. Los isotermos están conformados por paredes aislantes solamente, limitando la transferencia de calor del exterior al interior del contenedor al igual que los refrigerantes; sin embargo, estos últimos también utilizan una fuente de frío como son las placas eutécticas, hielo carbónico o gases licuados. En los frigoríficos se dispone de un contenedor isotermo con fuente de producción de frío autónoma.

2.4.1 CIRCULACIÓN DEL AIRE

El aire del recinto es el encargado de absorber el calor exterior e interior, del desescarchado, del mantenimiento de la humedad conveniente y de evacuar los residuos del metabolismo de respiración. La circulación de aire debe ser homogénea y producir pérdidas de presión bajas, ya sea a través de conductos o por renovación de aire (emisión de CO_2 y etileno) (Renedo, 2015).

De acuerdo con Rovira Monge (2015) un contenedor refrigerado siempre es enfriado por la circulación del aire que es suministrado por medio del espacio que hay entre la carga y el suelo, para luego fluir a través de la carga y finalmente ser extraído hacia la unidad de refrigeración por la parte superior del contenedor como se muestra en la figura 2.6.

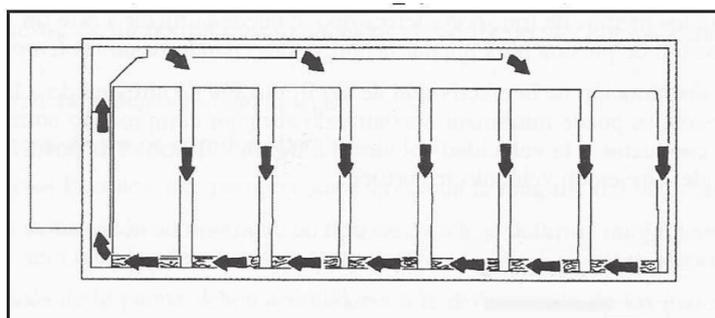


Figura 2.6: Circulación del aire (Rovira Monge, 2015)

Renedo (2015) toma en consideración para el proceso de contenerización algunos aspectos tales como:

- Las frutas y verduras (producen calor, humedad y gas) cuando son transportadas durante un periodo de tiempo largo y los productos a enfriar durante el transporte, deben estar apilados para que el aire circule entre ellos.
- Si el aire circula con dirección de abajo a arriba, las unidades de carga son apiladas sobre mecanismos que permiten la circulación del aire a nivel del suelo.
- Si el aire circula con dirección de arriba a abajo, las unidades de carga se apilan en pallets acondicionados para permitir la circulación del aire entre la carga y el suelo y su esparcimiento.

En cualquiera de los casos, siempre se debe dejar un espacio libre de por lo menos 12cm entre el techo y la carga. Existen marcas en las paredes laterales que indican la altura máxima permitida de la carga (Rovira Monge, 2015).

Ashby (1987) indica que un sistema de refrigerado debe tener capacidad suficiente para eliminar el calor generado por las siguientes fuentes, las cuales se detallan en la tabla 2.1.

Finalmente se debe entender que el proceso de ventilación al interior de un contenedor tiene como finalidad homogeneizar las condiciones ambientales. Es por ello que Barreiro y Robla (2004) resaltan la importancia de seleccionar y realizar una correcta distribución de la carga, obteniendo pérdidas de presión homogéneas y una circulación de aire capaz de adaptarse a las características particulares del producto y a la duración del trayecto.

2.4.2 UNITARIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE CARGA

Los contenedores refrigerados cuentan con un equipo propio de generación de frío, diseñados especialmente para exportaciones de productos con requerimientos de temperatura constante o bajo cero (Navarro, 2013).

Tabla 2.1: Fuentes de calor en un contenedor

<i>Fuente de calor</i>	<i>Descripción</i>
Residual	Aire dentro del contenedor, calor del aislamiento y forro interior del contenedor.
Exterior	Transferido a través del piso, paredes y techo. Depende de la diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior, tipo y grosor del aislamiento y área de las superficies conductoras.
Radiación solar	Aumenta la temperatura de las superficies exteriores expuestas al sol.
Infiltración	A través de pequeños orificios, fisuras y sellos de la puerta, aumentando los requerimientos de refrigeración.
Excesivo	Temperatura de la mercancía por encima de lo deseado durante el tránsito.
Respiración	Generado por frutas y vegetales frescos. La velocidad con la que el calor de respiración se genera varía de acuerdo a la temperatura del producto.

La consolidación de la carga requiere tener en cuenta el tipo de mercancía y el embalaje que se desea utilizar, esto con la finalidad de seleccionar el patrón de consolidación adecuado con base en las necesidades de circulación del aire frío alrededor de los productos dentro del contenedor (MSC, 2016).

Las tres principales tipos de contenedores son los de 20' (la comilla hace referencia a la medida de pie), 40' y 40' *High Cube*(HC) para cargas más grandes. En general se considera el peso y el volumen para considerar el uso de cada uno. Las medidas del mismo pueden presentar una pequeña variación del tamaño de acuerdo a la referencia o modelo de cada naviera respetando la norma ISO 6346 (esta norma internacional proporciona un sistema para la identificación y presentación de informaciones relativas a los contenedores para el transporte de mercancías).

A la hora de contenerizar existen ciertos elementos que se deben tener en consideración tratando de adaptarlos a las características internacionalmente aceptadas, este es el caso del empaque y embalaje utilizado así como la elección de cubicación o paletizado.

2.4.2.1 EMPAQUE Y EMBALAJE

Las mercancías o productos para lograr ser transportados de manera segura y ágil, debe cumplir ciertas especificaciones en su embalaje de acuerdo a sus características, la naturaleza de la carga y los trayectos geográficos (SENA, 2014).

Para los productos perecederos, el empaque es de suma importancia, debido a que además de contener el producto garantiza la continuidad de la cadena de frío, evitando el maltrato y deterioro de los productos frescos. De esta manera se asegura la calidad y se disminuye la posibilidad de rechazo por parte de los clientes. La compatibilidad del empaque con el producto es determinante para impedir que se transmitan olores o microorganismos de uno a otro (ProColombia, 2014).

En cuanto al embalaje, ProColombia (2014) reafirma la importancia de que estén diseñados para permitir la circulación adecuada del flujo del aire al estar dentro del contenedor. En adición a esto, se recomienda que las medidas sean conforme a las tarimas (*pallets*) utilizadas, optimizando de esta manera su uso.

2.4.2.2 CUBICACIÓN Y PALETIZACIÓN:

De acuerdo con Jiménez y Jiménez (2015), el cubicaje consiste en «llevar la mayor cantidad de carga para aprovechar al máximo la capacidad del transporte respetando la normatividad y capacidad de vehículos». Ellos consideran que durante la gestión y operación del transporte, el proceso de carga y acomodo de los productos en contenedores deben ser planeado con la finalidad de aumentar los beneficios económicos de la empresa, a través del aprovechamiento de la capacidad de carga del equipo de transporte.

En concordancia con datos de la Mediterranean Shipping Company (MSC, 2016) las cargas se pueden estibar de la siguiente forma:

- *En bloque*, la cual se utiliza generalmente para carga suelta que no está paletizada. Comúnmente se utilizan estibas en bloque como se muestra en la figura 2.7.

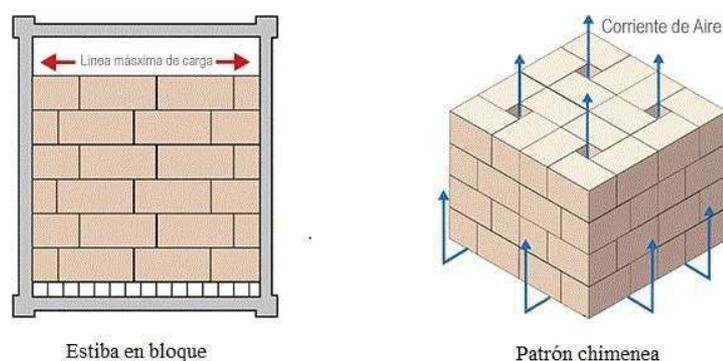


Figura 2.7: Tipos de estiba en bloque (MSC, 2016)

- *Paletizada*. Es importante que las cajas estén sujetas de manera segura. Mantener alineadas las esquinas de las cajas con las esquinas de las tarimas y de esta manera asegurar la distribución del peso desde la base de la estructura hacia arriba.

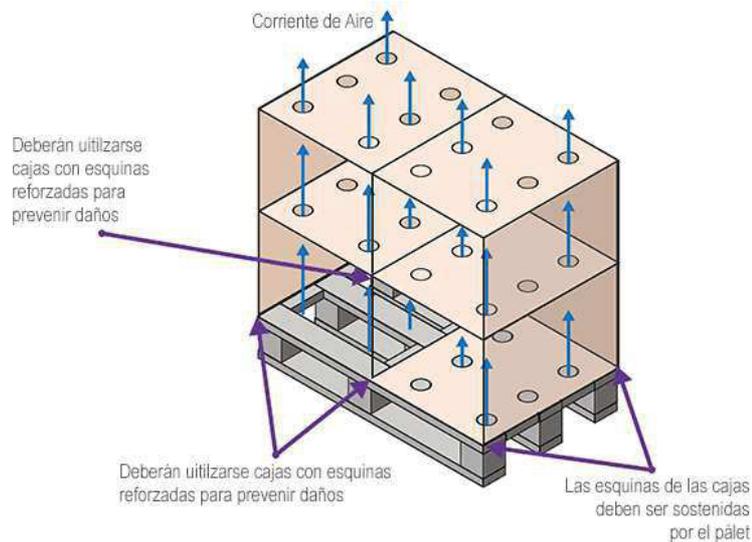


Figura 2.8: Ejemplo de carga estibada en tarima (*pallet*)(MSC, 2016).

Según Barreiro y Robla (2004), el transporte de mercancías usualmente se realiza con estibación sobre *pallet* con el objetivo de facilitar el movimiento de la carga por medios mecánicos. Las medidas típicas de *pallets* son las siguientes:

- Europalet P8 ($1000 \times 800mm$)
- Palet P10 ($1200 \times 1000mm$)
- CHEP (Commonwealth Handling Equipment Pool $1160 \times 1160mm$)
- Palet australiano o AUF ($1100 \times 1100mm$)

La unitarización por medio de tarimas permite de cierta forma, aprovechar al máximo la capacidad de transporte, dado que las dimensiones de la tarima no son múltiplos de las medidas del contenedor, provocando espacios vacíos durante el acomodo de la carga y en muchos casos teniendo que ser rellenados con bolsas de aire u otros objeto para evitar el desplazamiento de las tarimas durante el transporte.

Dependiendo del producto y el área de producción, del 75 % al 90 % de los envíos de frutas y vegetales frescos se realizan en la actualidad sobre *pallets* o protectores. Las cargas por unidad tienen la ventaja de que reducen el uso de mano de obra y el movimiento del producto, pero tienen requisitos únicos para proteger los productos alimenticios durante la transportación (Ashby, 1987).

2.4.3 COMPATIBILIDAD DE ALIMENTOS

En muchas ocasiones el volumen de la producción no es alto, por lo que, se dificulta cargar un contenedor completo o la necesidad de los compradores no es de un solo producto. En estos casos las empresas se enfrentan a retos como la compatibilidad de los productos en términos de respiración, temperatura, humedad, ventilación y producción de etileno entre otros (ProColombia, 2014).

Ashby (1987), por su parte toma el anterior concepto como compatibilidad de cargas mixtas que se entienden como aquellas que contienen dos o más productos diferentes. Se deben tomar en consideración cinco factores importantes al determinar la compatibilidad:

1. Temperatura requerida para el producto.
2. Humedad relativa requerida.
3. Emisión de gases fisiológicamente activos.
4. Características para absorber olores.
5. Requisitos de la atmósfera modificada.

En la actualidad se han desarrollado listados de grupos de compatibilidad de acuerdo a las anteriores características. En la tabla 2.2 se enlistan algunos grupos de compatibilidad con base en datos de Ashby (1987), con sus respectivos valores

de temperatura, humedad relativa y calor específico (cp) tanto por encima (\uparrow) como por debajo (\downarrow) del punto de congelación.

<i>Grupo</i>	<i>Fruta/verdura</i>	(°C)	(°F)	HR(%)	$cp \uparrow$	$cp \downarrow$
<i>Uno</i>	Albaricoques	0-1.5	32-34	90-95	0.88	0.46
	Bayas (menos arándanos agrios y necesitan atmosfera)	0-1.5	32-34	90-95	0.86	0.45
	Caquis	0-1.5	32-34	90-95		
	Cerezas (Necesitan atmosfera)	0-1.5	32-34	90-95	0.84	0.44
	Ciruelas y ciruelas pasas	0-1.5	32-34	90-95	0.88	0.45
	Granadas	0-1.5	32-34	90-95		0.43
	Higos (no con manzanas, peligro de transferencia de olor a los higos)	0-1.5	32-34	90-95	0.82	0.43
	Manzanas	0-1.5	32-34	90-95	0.87	0.45
	Melocotones	0-1.5	32-34	90-95	0.91	0.46
	Membrillos	0-1.5	32-34	90-95		
	Peras	0-1.5	32-34	90-95	0.86	0.45
Uvas	0-1.5	32-34	90-95	0.86	0.45	
<i>Dos</i>	Aceitunas, frescas	13-18	55-65	85-90		
	Aguacates	13-18	55-65	85-90	0.72	0.40
	Bananas	13-18	55-65	85-90	0.80	0.42
	Berenjenas	13-18	55-65	85-90	0.94	0.48
	Guayaba	13-18	55-65	85-90		
	Limas	13-18	55-65	85-90	0.85	0.46
	Mangos	13-18	55-65	85-90	0.85	0.44
	Melones redados [muskmelons], que no sean cantalupos; Casaba, Crenshaw, Honeydew, Persas	13-18	55-65	85-90	0.94	0.48
	Papayas	13-18	55-65	85-90		

Continúa en la página siguiente.

<i>Grupo</i>	<i>Fruta/verdura</i>	(°C)	(°F)	HR(%)	<i>cp</i> ↑	<i>cp</i> ↓
	Piñas (no con aguacates, peligro de la absorción de olores por los aguacates)	13-18	55-65	85-90	0.88	0.45
	Sandías	13-18	55-65	85-90	0.97	0.48
	Tomates, rosados	13-18	55-65	85-90	0.95	0.48
	Tomates, verdes	13-18	55-65	85-90		
	Toronjas	13-18	55-65	85-90	0.90	0.46
<i>Tres</i>	Arándanos agrios	2.5-5.0	36-41	90-95	0.90	0.46
	Cantalupos	2.5-5.0	36-41	90-95	0.93	0.48
	Lichis	2.5-5.0	36-41	90-95		
	Limonos	2.5-5.0	36-41	90-95	0.91	0.46
	Mandarinas	2.5-5.0	36-41	90-95	0.90	0.46
	Naranjas	2.5-5.0	36-41	90-95	0.90	0.46
<i>Cuatro</i>	Ajíes, rojos (si es con ajíes verdes, ajuste la temperatura a la más alta recomendada)	4.5-7.5	40-45	95	0.94	0.47
	Ajíes, verdes (no con habichuelas o judías)	4.5-7.5	40-45	95		
	Calabaza (auyama), verano	4.5-7.6	40-45	95	0.95	0.48
	Judías, verdes	4.5-7.6	40-45	95	0.91	0.47
	Lichis	4.5-7.7	40-45	95		
	Molondrones	4.5-7.7	40-45	95	0.92	0.46
	Sandías	4.5-7.8	40-45	95	0.97	0.48
	Tomates, rosados	4.5-7.8	40-45	95	0.95	0.48
<i>Cinco</i>	Berenjenas	4.4-13	40-55	85-90	0.94	0.48
	Calabazas grandes y calabazas, invierno	4.4-13	40-55	85-90	0.92	0.47
	Jengibre	4.4-13	≥ 55	85-90		0.43
	Papas (última cosecha)	4.4-13	40- 55	85-90	0.82	0.43
	Pepinos	4.4-13	40- 55	85-90	0.97	0.49

Continúa en la página siguiente.

<i>Grupo</i>	<i>Fruta/verdura</i>	(°C)	(°F)	HR(%)	<i>cp</i> ↑	<i>cp</i> ↓
	Sandías (temperatura ajustada para otros miembros del grupo)	4.4-13	40- 55	85-90		
	Toronjas	4.4-13	40- 55	85-90	0.90	0.46
<i>Seis A</i>	Alcachofas	0-1.1	32-34	95-100	0.87	0.45
	Berro	0-1.1	32-24	95-100		
	Endivia y escarola	0-1.1	32-24	95-100	0.94	0.48
	Espárragos	0-1.2	32-24	95-100	0.94	0.48
	Espinacas	0-1.2	32-24	95-100	0.94	0.48
	Guisantes	0-1.3	32-24	95-100	0.79	0.42
	Higos	0-1.3	32-24	95-100	0.82	0.43
	Hongos	0-1.4	32-24	95-100	0.93	0.47
	Lechuga	0-1.4	32-24	95-100		0.48
	Maíz dulce	0-1.5	32-24	95-100	0.79	0.42
	Pastinacas	0-1.5	32-24	95-100	0.84	0.44
	Perejil	0-1.6	32-24	95-100	0.88	0.45
	Puerro (no con higos ni uvas)	0-1.6	32-24	95-100	0.88	0.46
	Remolachas, rojas	0-1.7	32-24	95-100	0.90	0.46
	Ruibarbo	0-1.7	32-24	95-100	0.95	0.48
	Salsifí	0-1.8	32-24	95-100		
Uvas	0-1.8	32-24	95-100	0.86	0.45	
Zanahorias	0-1.9	32-24	95-100	0.90	0.46	
<i>Seis B</i>	Apio nabo	0-1.1	32- 34	95-100	0.95	0.48
	Brócoli	0-1.1	32-34	95-100	0.92	0.47
	Cebollas, verdes (no con ruibarbo, higos, uvas, hongos, maíz dulce)	0-1.1	32- 34	95-100		
	Col de Bruselas	0-1.1	32- 34	95-100	0.88	0.46
	Coliflor	0-1.1	32- 34	95-100	0.93	0.47
	Colinabo	0-1.1	32- 34	95-100		

Continúa en la página siguiente.

<i>Grupo</i>	<i>Fruta/verdura</i>	$(^{\circ}C)$	$(^{\circ}F)$	$HR(\%)$	$cp \uparrow$	$cp \downarrow$
	Nabos	0-1.1	32- 34	95-100		
	Nabos suecos	0-1.1	32- 34	95-100		
	Rábano picante	0-1.1	32- 34	95-100		
	Rábanos	0-1.1	32- 34	95-100	0.95	0.48
	Repollo			95-100	0.94	0.47
<i>Siete</i>	Batatas	13-18	55-65	85-90	0.76	0.41
	Jengibre	13-18	55-65	85-90		
	Papas, cosecha tempranera (temperaturas ajustadas para los demás)	13-18	55-65	85-90	0.85	0.44
<i>Ocho</i>	Ajo	0-1.5	32-34	65-75	0.69	0.40
	Cebollas, secas	0-1.5	32-34	65-75	0.90	0.46

Tabla 2.2: Grupos de compatibilidad de alimentos

Luego de analizar la similitud en los resultados de los datos de calor específico (cp) a partir de la agrupación, se concluyó que para objeto de la investigación se debía orientar la búsqueda en encontrar un producto capaz de actuar como aislante de otro dentro de un mismo grupo de compatibilidad. Por lo tanto, es necesario contabilizar la conductividad térmica $\lambda(\frac{W}{m^{\circ}C})$ de otros alimentos que puedan entrar en compatibilidad con los anteriormente evaluados. De igual manera se debe analizar la resistencia térmica de cada material al interior del contenedor y su comportamiento.

2.5 SELECCIÓN DE MÉTODO MATEMÁTICO

Como vimos anteriormente la contenerización mecaniza el proceso de carga de mercancía o productos de manera ágil y rápida, siempre y cuando los procesos anteriores sean diligenciados debidamente, tales como la selección de empaque y embalaje, distribución de cargas, condiciones térmicas, entre otras.

Si consideramos lo anterior podríamos identificar como métodos de solución el diseño de un modelo matemático que nos permita maximizar la capacidad útil del contenedor o bien reducir el desperdicio de espacio.

Sokolowski y Banks (2010) señala que los modelos son aproximaciones del mundo real, ya sea de un evento o un sistema y que este a su vez se puede modificar para que una simulación permita la observación repetida del modelo. Después de una o varias simulaciones, se realiza un análisis para concluir, verificar, validar la investigación y hacer recomendaciones; por consiguiente no son dos métodos adversarios sino complementarios, donde claramente la simulación se apoya continuamente en el modelo.

Esta tesis tiene como objetivo mejorar el proceso de contenerización de productos perecederos dentro de un contenedor refrigerado, utilizando el mayor espacio posible para posteriormente evaluar las necesidades térmicas de los alimentos, por lo tanto se enfocará en dos aspectos: la creación de un modelo matemático que optimice la capacidad de carga de un contenedor y una plantilla para el análisis térmico.

Para la construcción del modelo matemático se aunó dentro de la literatura, donde al referenciar el aspecto de maximizar la capacidad de carga de *pallets* y contenedores se utilizaba el uso de problemas de corte y empaque para su solución, mientras que para realizar análisis térmicos se suele utilizar el cálculo matemático, la medición y simulación mediante *software*. A continuación se presenta en qué consisten y de qué manera se seleccionó el tipo de método.

2.5.1 PROBLEMAS DE CORTE Y EMPAQUE

Yanasse *et al.* (2008) señalan que los Problemas de Corte y Empaque (CyP) surgen en múltiples clases y situaciones prácticas, por lo general son difíciles de resolver con exactitud. Entre los ejemplos que mencionan se encuentran «el corte de rollos o de tableros de madera para producir un conjunto de artículos ordenados en

la industria del papel o del mueble y el embalaje de cajas rectangulares de diferentes tamaños en contenedores o camiones».

Dyckhoff (1990) desarrolló un revisión consistente para tratar de comprender las diferentes tipologías de CyP basado en la estructura básica lógica de los mismos. En la figura 2.9 se muestra un problema de corte de tubos para unidades de calor de radiador (descrito por Heicken y Krnig, 1980). Por un lado se tiene un *stock* ilimitado de grandes tubos de longitud 98 para producción y por otra parte un listado de pequeños tubos de longitudes de 5 a 46 que tienen que ser producidos para satisfacer la demanda semanal. Estos dos grupos, el *stock* de objetos grandes y la cartera de pedidos de artículos pequeños, constituyen los datos básicos del problema del *stock* de corte. Los pedidos de tubos pequeños se combinan formando patrones de corte para ser asignados a objetos grandes de material. El proceso tiene que obedecer ciertos objetivos y restricciones específicos para cada problema.

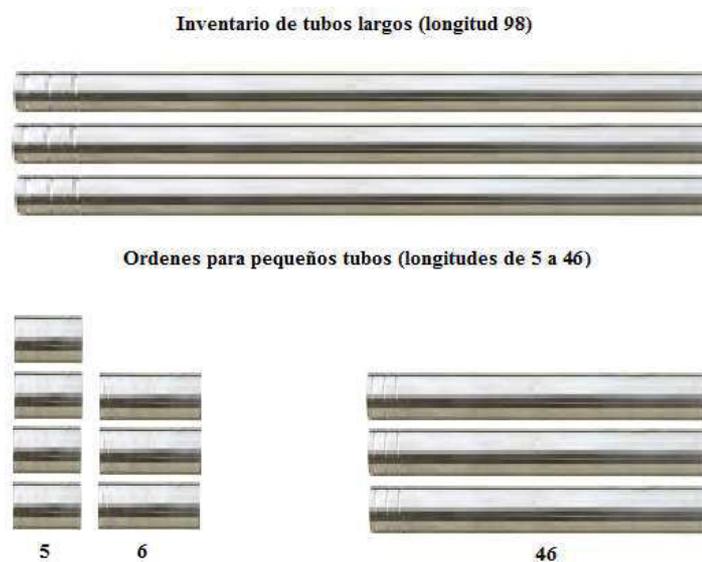


Figura 2.9: Corte de tubos (Dyckhoff, 1990).

Otro ejemplo que propone Dyckhoff para explicar la estructura básica de los CyP es el problema de carga de contenedores de la figura 2.10. Este tipo de problema también presenta dos grupos de datos básicos, por una parte el *stock* de objetos

grandes que consisten en uno o más contenedores, y por otra parte una cartera de artículos más pequeños que pueden ser empaquetados en los contenedores. Aparte de ciertos objetivos y limitaciones individuales, el aspecto principal de la carga de contenedores se refiere a la combinación geométrica de artículos pequeños con los patrones de empaque que se pueden asignar a los contenedores de la población.

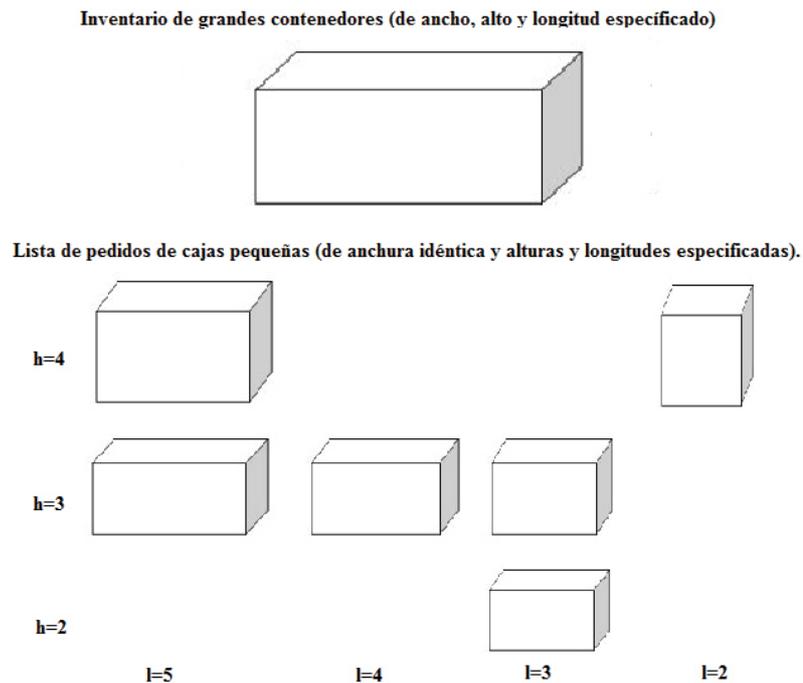


Figura 2.10: Carga de contenedores (Dyckhoff, 1990)

Como se puede ver los problemas de CyP en general siguen una estructura definida, Wäscher *et al.* (2007) la definen como dados un conjunto de objetos grandes y un conjunto de pequeños artículos, los cuales se definen en una o más (n) dimensiones geométricas. Se seleccionan algunos o todos los elementos pequeños, se agrupan en uno o más subconjuntos y se asignan a cada uno de los subconjuntos resultantes a uno de los objetos grandes de tal manera que la condición geométrica se mantenga, tal que todos los elementos pequeños del subconjunto se encuentren dentro del objeto grande, los elementos pequeños no se superpongan y se optimice una función objetivo (unidimensional o multidimensional) dada.

Tabla 2.3: Estructura de la tipología de problemas CyP

<i>Característica</i>	<i>Simbología</i>
Dimensionalidad	(1) Unidimensional.
	(2) Dos dimensiones.
	(3) Tridimensional.
	(N) N-dimensional con $N > 3$.
Tipo de asignación	(B) Todos los objetos y una selección de artículos.
	(V) Una selección de objetos y todos los elementos.
Surtido de objetos grandes	(O) Un objeto.
	(I) Figura idéntica.
	(D) Diferentes figuras
Surtido de pequeños artículos	(F) Pocos artículos (de diferentes cifras).
	(M) Muchos artículos de muchas figuras diferentes.
	(R) Muchos elementos de relativamente pocas figuras diferentes (no congruentes).
	(C) Figuras congruentes.

La fuerte relación entre corte y empaque resulta de la dualidad de material y espacio, es decir, la dualidad de un cuerpo material sólido y el espacio ocupado por el (Dyckhoff, 1990).

De acuerdo a la anterior caracterización, Dyckhoff propone un sistema simple de 96 tipos de problemas combinados que pueden estar relacionados con nociones y enfoques de solución conocidos en la literatura, combinando algunos tipos principales en cuatro características importantes. Lo anterior tiene un impacto decisivo en la elección y en la complejidad de la solución. Las cuatro características así como sus tipos principales, denotados por símbolos apropiados como se plasma en la tabla 2.3.

Mediante la combinación de los distintos tipos principales de dimensionalidad, asignación y surtido se obtienen $4 \times 2 \times 3 \times 4 = 96$ tipos diferentes de problemas de CyP, brevemente designados por una cuarta tupla de símbolos respectivos $\alpha/\beta/\delta$.

Un símbolo que falta para una característica significa que todas las propiedades respectivas son posibles (Dyckhoff, 1990). Algunas de las clasificaciones aparecen en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Nociones asignadas a los tipos de combinación correspondientes

<i>Concepto</i>	<i>Notación</i>
Knapsack problem (clásico)	1/B/O/
Pallet Loading Problem	2/B/O/C
More- dimensional Knapsack problem	/B/O/
Dual Bin Packing Problem	1/B/O/M
Vehicle Loading Problem	1/V/I/F, 1/V/I/M
Container Loading Problem	3/V/I, 3/B/O
Bin Packing Problem (clásico)	1/V/I/M
Cutting Stock Problem (clásico)	1/V/I/R
2-dimensional Bin Packing Problem	2/V/D/M
Usual 2- dimensional Cutting Stock Problem	2/V/I/R

De la anterior clasificación y de acuerdo a las características propias de nuestro problema se priorizan el Pallet Loading Problem (PLP) y el Two-Dimensional Bin Packing Problem como posibles métodos de solución.

2.5.1.1 Problema de Carga de Tarima (PLP)

De acuerdo con Hodgson (1982) este problema consiste en cargar tarimas rectangulares de largo L por ancho W , extrayendo n cajas rectangulares de un conjunto N . El objetivo es maximizar el área cubierta en la tarima. Este tipo de problemas se genera especialmente durante la distribución, cuando se debe transportar gran cantidad de cajas de un producto pequeño. Entre más cajas sean acomodadas sobre una tarima, el costo de transporte disminuye proporcionalmente, por eso es considerado como problema relevante para las finanzas de las empresas (Scheithauer y

Terno, 1996).

Litvinchev y Ozuna (2014) realizan un ejercicio matemático de características similares al PLP, el cual es de suma relevancia para mejorar los procesos de empaquetamiento sin necesidad de realizar heurísticas, asegurando de esta manera un resultado sobresaliente en la acomodación de figuras. Ellos consideran un problema de empaquetar un número limitado de círculos desiguales en un recipiente rectangular de tamaño fijo, de manera que se maximice el número de círculos colocados en el contenedor o bien minimizar el desperdicio de espacio. Se propone una formulación basada en la utilización de una cuadrícula regular aproximada al contenedor y considerando los nodos de la cuadrícula como posibles posiciones para asignar centros de los círculos. Las variables binarias representan la asignación de centros a los nodos de la cuadrícula. En este caso en particular se considera el anidamiento de círculos dentro de otros como se muestra en la figura 2.11. El modelo se describe a continuación:

Se tienen círculos no idénticos C_k de radios conocidos $R_k, k \in K = \{1, 2, \dots, K\}$. Teniendo como máximo M_k círculos C_k que están disponibles para el embalaje y al menos m_k de ellos tienen que ser embalados. Denotan por $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ los puntos de nodos de la malla regular que cubre el contenedor rectangular. Sea $F \subset I$ los puntos de la malla situados en los límites o bordes del contenedor. Denotado por d_{ij} la distancia euclidiana entre los puntos i y j de la malla. Definidas variables binarias x_i^k si el centro de un círculo C_k es asignado al punto i ; $x_i^k = 0$ en caso contrario.

El primer problema que ellos consideran es sin anidamiento, de manera que el círculo C_k sea asignado al punto i y no se sobreponga con otros círculos que están siendo empaquetados, es necesario que $x_j^l = 0$ para $j \in J, l \in k$, tal que $d_{ij} \leq R_k + R_l$. Para cualquier i, k sea $N_{ik} = \{j, l : i \neq j, d_{ij} < R_k + R_l\}$. Sea n_{ik} la cardinalidad de $N_{ik} : n_{ik} = |N_{ik}|$. Entonces el problema de maximizar el área cubierta por los círculos sería:

$$\max \pi \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} r_k^2 x_i^k \quad (2.1)$$

$$m_k \leq \sum_{i \in I} x_i^k \leq M_k, \quad k \in K \quad (2.2)$$

$$\sum_{k \in K} x_i^k \leq 1 \quad i \in I/F \quad (2.3)$$

$$r_k X_i^k \leq \min_{j \in F} d_{ij} \quad i \in I, k \in K \quad (2.4)$$

$$x_i^k + X_j^l \leq 1 \quad \forall i \in I, k \in K, (j, l) \in N_{ik} \quad (2.5)$$

$$x_i^k \in \{0, 1\} \quad i \in I, k \in K \quad (2.6)$$

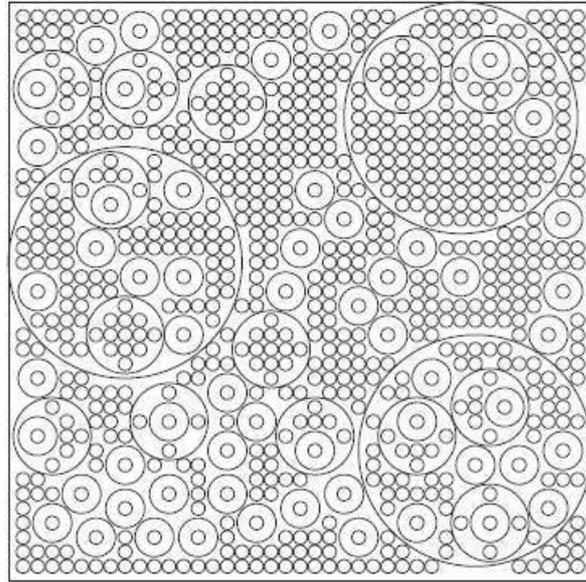


Figura 2.11: Patrón de embalaje para instancia 1 (Litvinchev y Ozuna, 2014)

2.5.1.2 Problema de Empaque Bidimensional (Two-Dimensional Bin Packing Problem)

Lodi *et al.* (2002), consideran a los Two-Dimensional Bin Packing Problems, como aquellos en los que se requiere asignar un conjunto de elementos rectangulares a unidades estandarizadas rectangulares mayores minimizando el desperdicio. En el problema de empaque bidimensional (2BP), se da un número ilimitado de recipientes

rectangulares idénticos de ancho W y altura H , y el objetivo es asignar todos los elementos al número mínimo de compartimientos.

Según Lodi *et al.* (2002), el primer intento de modelar problemas de empaquetamiento bidimensional fue hecho por Gilmore y Gomory en 1965 a través de una extensión de su enfoque a problema de embalaje de un contenedor unidimensional (1BP, por sus siglas en inglés). Ellos propusieron un enfoque de generación de columna basado en la enumeración de todos los subconjuntos de elementos (patrones) que se pueden empaquetar en un único contenedor. Sea A_j un vector de columna binaria de n elementos $a_{ij}(i = 1, \dots, n)$ tomando el valor 1 si el ítem i pertenece al j -ésimo patrón y el valor 0 en caso contrario. El conjunto de todos los patrones posibles es representado entonces por la matriz A , compuesta por todas las columnas A_j posibles ($j = 1, \dots, m$), y el modelo matemático correspondiente es:

$$\min \quad \sum_{j=1}^m x_j \quad (2.7)$$

$$s.a : \quad \sum_{j=1}^m a_{ij}x_j \quad \forall i \quad (2.8)$$

$$x_j \in 0, 1 \quad j = 1, \dots, m \quad (2.9)$$

donde x_j toma el valor 1 si el patrón j pertenece a la solución, y el valor 0 en caso contrario. Se observa que las expresiones 2.7 a la 2.9 son un modelo válido para 1BP también, la única diferencia es que los A_j son todas las columnas que satisfacen $\sum_{i=1}^N a_{ij}h_i \leq H$.

Como se logra observar para tratar de maximizar la capacidad de un contenedor refrigerado llega ser de gran utilidad la implementación de la modelación matemática, específicamente los modelos de corte y empaque bidimensionales, al considerarse que la altura del contenedor no es determinante al ser estandarizada para carga perecedera. A través de esta modelación se puede lograr incluir aspectos restrictivos como son las dimensiones y pesos. De manera parcial se identifica el PLP como el método de solución factible para el logro del objetivo planteado.

2.6 SELECCIÓN DE MÉTODO PARA EL ANÁLISIS TÉRMICO

Existen 2 formas transitorias de conocer la pérdida de calor para este caso en particular, teniendo como preceptos el hecho de que se trata de un espacio determinado donde se encuentran presentes diferentes materiales y el contendor se enfrenta a diversas condiciones térmicas, como lo es la radiación solar, la variación en la velocidad del viento y de la temperatura ambiente. Estas formas son el cálculo experimental, con ayuda de equipos termográficos, o de forma virtual utilizando un *software* de simulación.

Un ejemplo de experimentación es la termografía infrarroja, la cual permite generar un mapeo superficial de temperatura (ver figura 2.12) a pesar de las altas variaciones de temperatura espacial y/o flujo térmico. Para la medición es necesario una cámara infrarroja y un computador. La cámara trabaja como detector infrarrojo, absorbiendo la energía de los rayos infrarrojos (IR) emitida por el objeto, convirtiéndola en voltaje o corriente eléctrica. La energía emitida puede ser proporcional a la temperatura de la superficie. No obstante, la energía detectada depende del coeficiente de emisividad de la superficie bajo medición y al ser una técnica de no contacto puede verse afectada por la distancia desde el objeto a ser medido hasta el aparato de medición (Muñoz-Potosi *et al.*, 2009). Esta herramienta es útil siempre y cuando se tenga la contenerización física.

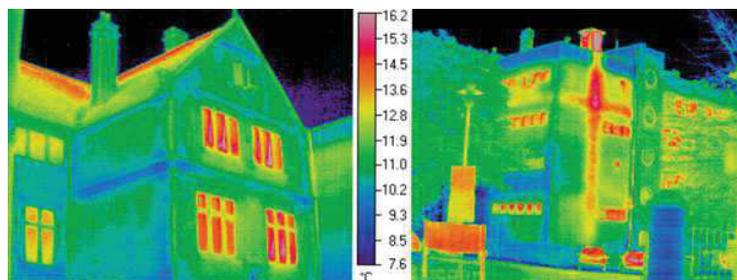


Figura 2.12: Ejemplo de termografía infrarroja

La simulación de la transferencia de calor a través de un *software* por su parte, permite estudiar el comportamiento de los mecanismos de transferencia, conducción, convección y radiación de manera transitoria. El simulador calcula la temperatura y el flujo del calor a partir de los datos ingresados. El costo de este tipo de simulador en el mercado es alto y depende estrechamente de las características y de la precisión que se desee.

Las anteriores herramientas requieren que previamente se realice el cálculo de la pérdida de calor en estado estable, con la finalidad de validar la información generada por la experimentación o el *software*. Cabe destacar que dichos cálculos toman en consideración un gran número de factores, que permiten mayor precisión y aproximación a los resultados en estado transitorio, ya que los coeficientes de conductividad térmica, temperatura exterior e interior, y factores de convección han sido calculados previamente de forma experimental y publicados extensamente dentro de la literatura por prestigiosos autores como Çengel y Ghajar (2007). De acuerdo a esto se decide crear una plantilla en Excel capaz de generar los resultados deseados dadas las condiciones que se mencionan dentro de esta investigación para el uso de contenedores refrigerados.

Como comentario adicional, los análisis térmicos en la industria se realizan a través de cálculos para estimar de forma más rápida la transferencia de calor, el consumo energético y el ahorro generado. En caso de que se requiera profundizar en un análisis específico, se podrían utilizar programas computarizados. Como referencia de lo dicho anteriormente, la Association of Energy Engineers (AEE) entrega certificaciones a ingenieros en el cálculo y estimación de datos en el área energética, sin el uso de programas o electrónicos.

La búsqueda de antecedentes a la solución de optimización de procesos de contenerización para productos perecederos se realizó aunando en publicaciones y conferencias de investigación de diversos autores y áreas de conocimiento enfocados a la cadena de frío, procesos de contenerización y control de temperatura en EBS-

CO HOST, Emerald, ScienceDirect y Google Academic principalmente, los cuales concuerdan en la importancia de diseñar la red de frío con base en la necesidades térmicas y no por tipología de producto además de descifrar la complejidad del transporte refrigerado para productos perecederos. Se utilizaron palabras claves tales como *cold chain*, *contenerization*, *reefer* o *design of cold storage*, *heat transfer* entre otras. En el siguiente capítulo se mostrará la metodología construida para resolver el objetivo planteado dentro de esta investigación.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Dentro de este capítulo se describe paso a paso la manera en que se abordó la problemática identificada, a partir de la revisión documental mostrada en el capítulo 2. De esta manera se diseñó un procedimiento racional que permitiera encaminar la investigación a una solución factible, para posteriormente ser evaluada la viabilidad de su uso práctico, logrando de esta manera el objetivo de mejora propuesto.

3.1 FASE 0: INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Como se mencionó anteriormente, la investigación se inicia de manera exploratoria, nombrada dentro de la metodología como fase cero (0) de la investigación. En este punto se realiza una revisión documental sobre conceptos, pesquisas, y archivos relacionados al concepto de cadena de frío, producto perecedero, contenedor refrigerado, compatibilidad de cargas, entre otros; con la finalidad de obtener una visión general de tipo aproximativo respecto a los retos presentes en el comercio de cargas refrigeradas y de esta manera buscar una propuesta de solución al problema particularmente identificado.

A partir de la información recolectada y como se aprecia en el capítulo anterior, se delimita el área de investigación para el punto crítico o etapa en la cadena de frío

identificada frecuentemente en la literatura como ‘transporte’, específicamente el transporte en contenedores refrigerados por vía marítima. Aspectos relacionados a este como son el cargue y descargue, control de temperatura, circulación de aire y consolidación de carga por medio de cubicación o paletización, se convierten en los elementos claves para mejorar las condiciones de refrigeración de los productos al interior del contenedor y por ende garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos.

Luego de analizar los datos se genera la pregunta de ¿Cómo se puede mejorar el proceso de contenerización de productos perecederos teniendo en cuenta el espacio dentro del contenedor, sus necesidades térmicas y la homogeneidad de los alimentos por familias de temperatura como área de oportunidad? De esta manera se da inicio al proceso metodológico que en este caso consta de 3 fases como se observa en la figura 3.1: modelación matemática, análisis de transferencia de calor y generación de resultados, última que se presenta en el capítulo 4.

3.2 FASE 1: MODELACIÓN MATEMÁTICA

Debido a la importancia de métodos para mejorar el uso del espacio de los contenedores, especialmente los refrigerados, se decide realizar un modelo matemático que permita minimizar el desperdicio de espacio dentro de un contenedor; es decir, tratar de acomodar la mayor cantidad posible de producto sin interferir con las restricciones propias del tipo de producto y necesidades de conservación. De manera simultánea se analizó la posibilidad de realizar una simulación, sin embargo, los cálculos relativos a la transferencia de calor se pueden hacer siempre y cuando se conozca de antemano la distribución de los productos al interior del contenedor.

Para esta fase se toma como base la clasificación realizada por Dyckhoff (1990) en la tabla 2.4 del capítulo anterior, donde de acuerdo a las características o propiedades ahí descritas, se puede distinguir el tipo de problema que se pretende abordar. Para este caso en particular se consideraron inicialmente dos problemas:

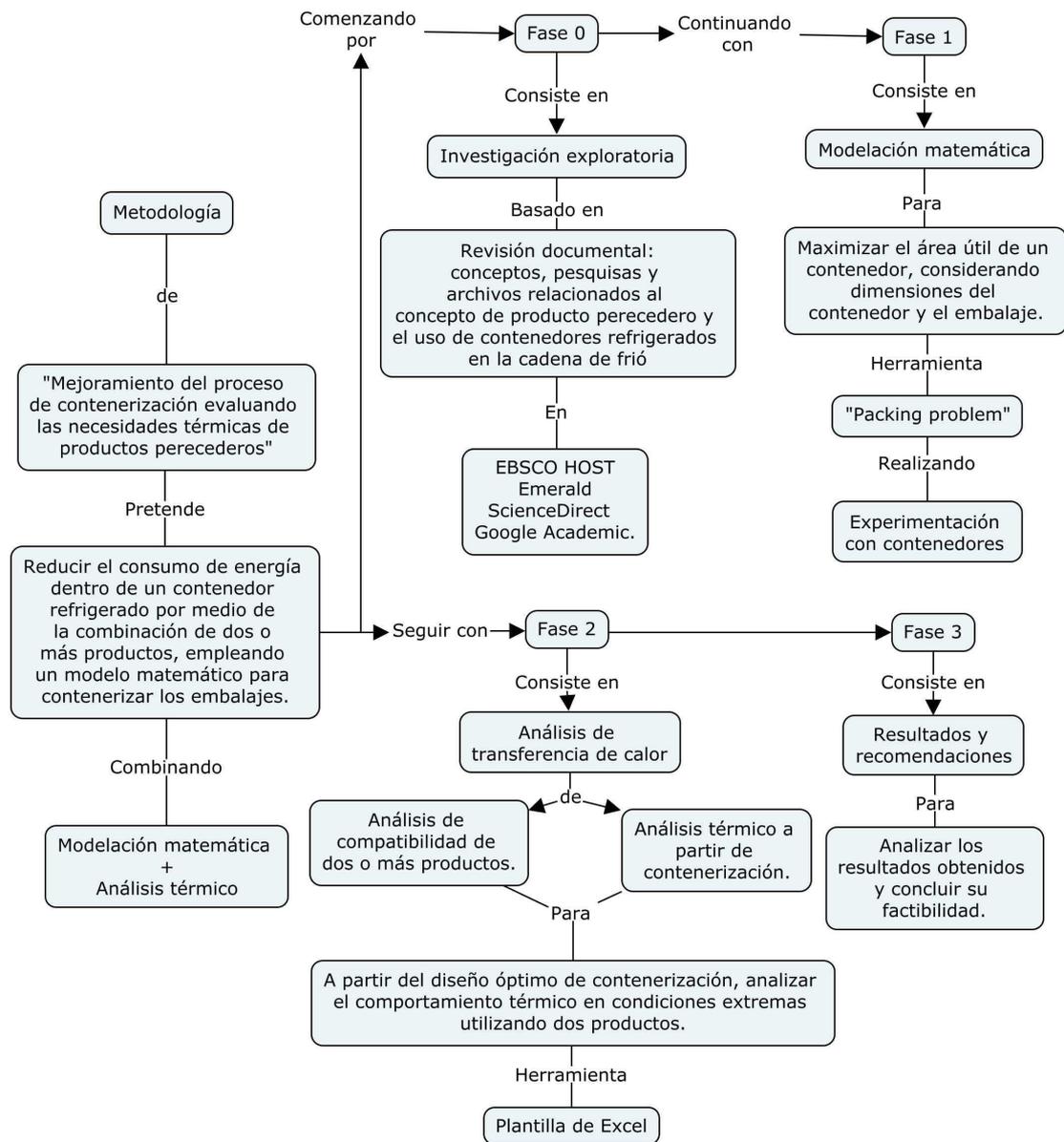


Figura 3.1: Resumen de metodología

- Pallet Loading Problem (2/B/O/C): Su notación lo distingue como un problema bidimensional, donde el tipo de asignación corresponde a todos los objetos y una selección de artículos y solo existe un objeto grande donde se debe acomodar un surtido de artículos de figuras congruentes.
- 2-Dimensional Bin Packing Problem (2/V/D/M): Su notación lo distingue como un problema bidimensional, donde el tipo de asignación corresponde a una selección de objetos y todos los artículos, los objetos grandes son figuras diferentes para acomodar muchos artículos de muchas figuras diferentes.

Después de realizar la lectura de diversas publicaciones alusivas a este tipo de problemas se determinó que dadas las características del problema de carga de contenedor el PLP es el más adecuado.

Para su desarrollo se toma en consideración el tipo de restricciones presentes en problemas de empaquetamiento de rectángulos, círculos, cuadrados entre otras figuras.

3.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere empaquetar un número ilimitado de rectángulos de dimensiones diferentes, en este caso llamadas tarimas, dentro de un contenedor rectangular de dimensiones fijas. El objetivo es maximizar el número (ponderado) de rectángulos dentro del contenedor o bien minimizar el desperdicio de espacio dentro del mismo. Como lo menciona Litvinchev y Ozuna (2014), este tipo de problemas son resueltos, usualmente, a través de técnicas heurísticas combinadas con procedimientos de búsqueda local, mientras que ellos proponen una formulación basada en el uso de una malla regular que cubre el contenedor y donde se considera a los nodos de la misma como posiciones potenciales para la asignación de centros de la figura a empaquetar.

Tomando en consideración la investigación realizada por Litvinchev y Ozuna

(2014) como método de solución, se decide diseñar una malla, que bien podría ser el contenedor, capaz de albergar el mayor número de tarimas en su interior, siendo necesario establecer nodos prohibidos en los bordes de la misma, que impidan que algunas tarimas queden por fuera y establecer el conjunto de nodos permisibles a ser centro de estas.

3.2.2 FORMULACIÓN DEL MODELO

3.2.2.1 *Supuestos*

- Se conocen las dimensiones y pesos de los paletizados.
- Se conocen las dimensiones y la capacidad en peso del contenedor.
- Los paletizados tienen una misma altura.
- El tamaño de la malla puede ser modificado.

3.2.2.2 *Conjuntos*

- I : Nodos en la malla.
- K : Conjunto de tipo de tarimas.

$F \subseteq I$, el cual está constituido por los puntos de la malla situados en el límite del contenedor.

3.2.2.3 *Parámetros*

- D_k^1 = Largo de la tarima k .

- D_k^2 = Ancho de la tarima k .
- $d_{i,j}^m$ = Distancia entre los puntos i y j en el eje m .
- $d_{i,j}^n$ = Distancia entre los puntos i y j en el eje n . Donde $e = m$ para el eje x y $a = n$ para el eje y
- Q = Capacidad en peso del contenedor.
- $w(k) =$ Peso de las tarimas k .

Si la $d_{i,j}^m \leq (\frac{D_k^2}{2}) + (\frac{D_l^2}{2})$ y la $d_{i,j}^n \leq (\frac{D_k^1}{2}) + (\frac{D_l^1}{2})$, entonces ese nodo se prohibirá como posible centro de una tarima y entraría en el conjunto T_{ik} de nodos prohibidos, evitando el traslape.

3.2.2.4 Variable

$$x_i^k = \begin{cases} 1, & \text{si el centro de la tarima } k \text{ de la tarima está ubicado en el punto } i \text{ de la malla,} \\ 0, & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

3.2.2.5 Modelo propuesto

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} D_k^1 D_k^2 x_i^k \quad (3.1)$$

$$\sum_{k \in K} x_i^k \leq 1 \quad \forall i \in I/F \quad (3.2)$$

$$D_k^1 x_i^k \leq \min_{j \in F} d m_{ij} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (3.3)$$

$$D_k^2 x_i^k \leq \min_{j \in F} d n_{ij} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (3.4)$$

$$x_i^k + x_j^l \leq 1 \quad \forall i \in I, k \in K, (j, l) \in T_{ik} \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} w_k x_i^k \leq Q \quad (3.6)$$

$$x_i^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (3.7)$$

La expresión (3.1) maximiza el área útil del contenedor; la restricción (3.2) asegura que no más de un centro este asignado a un nodo, mientras que las ecuaciones (3.3) y (3.4), revisan que las tarimas asignadas no sobrepasen los límites del contenedor; la restricción (3.5) por su parte, garantiza que no haya superposición entre tarimas; la expresión (3.6) ayuda a que la capacidad en peso del contenedor no sea excedida y finalmente la restricción (3.7) representa la naturaleza binaria de la variable.

3.3 FASE 2: ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

3.3.1 ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD

Dentro de la información canalizada en la fase 0 se toma en consideración la información entregada por Ashby (1987), donde presentan grupos de compatibilidad para cargas mixtas, es decir, aquellas que están constituidas por dos o más productos y que presentan similitudes en sus requerimientos individuales. De esta manera se recopila la información desplegada en la tabla 2.2 con datos inherentes a la temperatura, humedad relativa requerida y calor específico de cada producto. Sin embargo, luego de analizar la similitud en los datos de calor específico a partir de la agrupación, se concluye que para objeto de la investigación se debía orientar la búsqueda en encontrar un producto tipo B (color naranja) capaz de actuar como aislante del tipo A (color blanco) dentro de un mismo grupo de compatibilidad como se muestra en la figura 3.2, por lo tanto, es necesario contabilizar la conductividad térmica de otros alimentos que estén o puedan entrar en un mismo grupo, aspecto temático que no hace parte del objetivo tratado dentro de esta investigación.

Si se observa el producto tipo B (aislante) debe estar siempre en contacto con las paredes del contenedor, ya que este no requiere de tanto control de temperatura

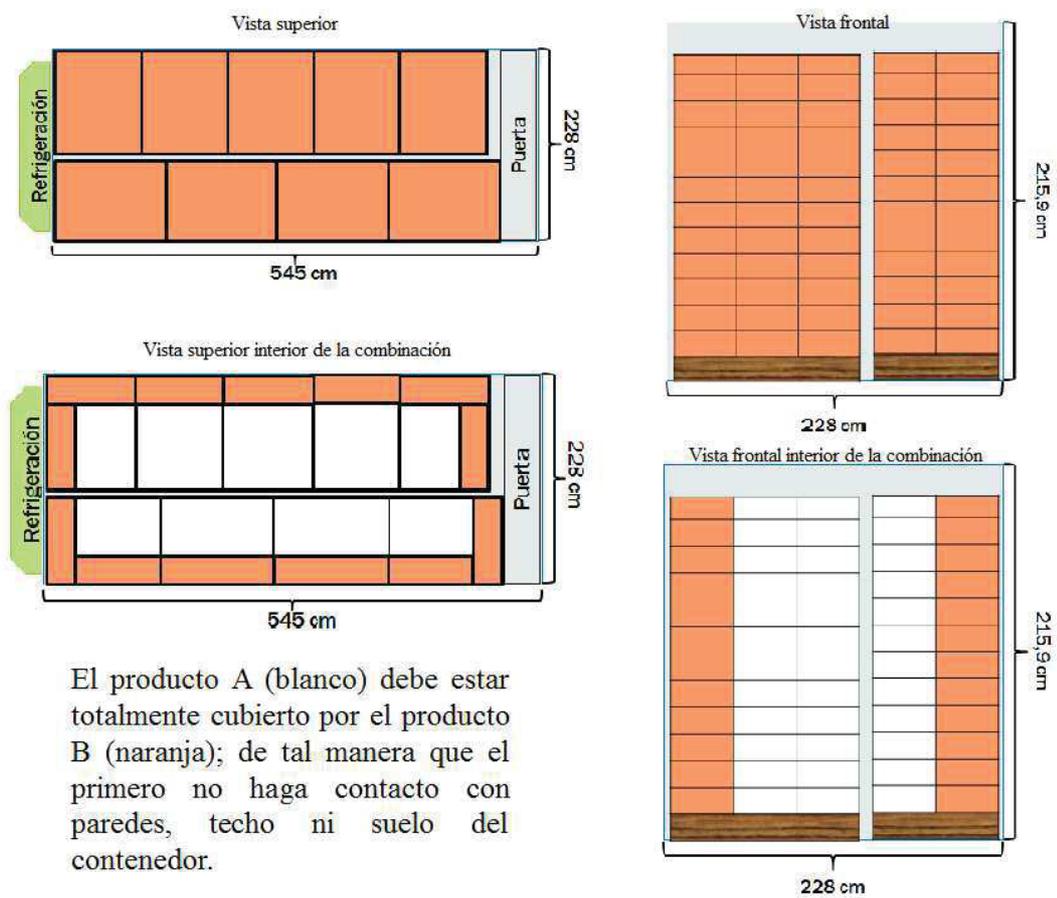


Figura 3.2: Modelo de paletizado dentro de un contenedor refrigerado de 20'

mientras que el tipo A (producto principal) necesita mayor estabilidad de la misma.

La figura de paletizado 3.2 corresponde al acomodo propuesto de mercancía dentro de un contenedor. los espacios entre *pallets* deben ser rellenados con algún tipo de material permitido (MSC, 2016).

Para efectos de la investigación se está considerando un contenedor refrigerado de 20' con tarimas P10 ($120 \times 100\text{cm}$), los cuales son el tipo de estiba/tarima más frecuentemente utilizada internacionalmente (Barreiro y Robla, 2004). Su resistencia es de 1 tonelada y la altura máxima de carga es de 2 metros.

Los empaques de los productos tienen ciertas características. Generalmente las frutas se envasan en cestas de 4 y 6 kg, en cajas o platos de cartón ondulado. Los envases abiertos (platos) en los que la fruta se puede sacar con facilidad son los preferidos, cuyas medidas convencionalmente son de $40 \times 50\text{cm}$ con una altura aproximada de 15cm.

3.3.2 ANÁLISIS TÉRMICO

Con la finalidad de conocer la transferencia de calor dentro del contenedor y el calor perdido durante su transporte, se debe dividir el mismo en diferentes partes de muestreo: Desde el centro hacia la pared derecha (I), desde el centro hacia la pared izquierda (I'), desde el centro hacia la puerta (II), desde el centro hacia la parte posterior (II'), desde el centro hacia el techo (III), desde el centro hacia el suelo (III'), revisando el tipo de transferencia que presenta, ya sea por conducción, convección o radiación como se muestra en la figura 3.3.

La carga se considera como una masa determinada con cierto espesor, de igual manera se contempla que existe en un espacio tridimensional y se hace necesario conocer los valores de conductividad térmica, temperatura y espesor de los materiales presentes. Cabe destacar que se debe realizar el cálculo seccional, es decir, sección por

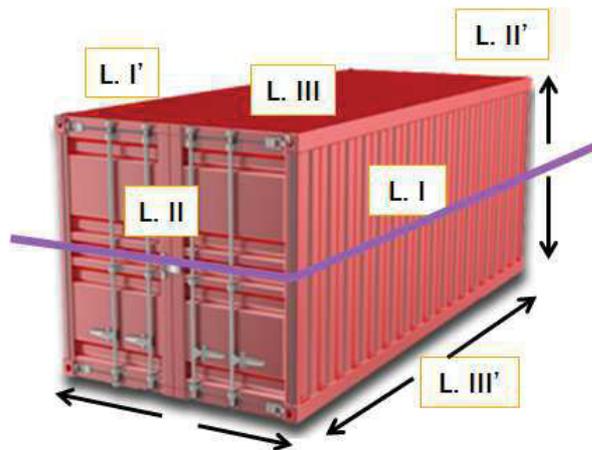


Figura 3.3: Evaluación de transferencia de calor

sección, siendo necesario busca los valores resultantes de las ecuaciones de conducción (2.1) convección (2.2) y radiación (2.3) de la sección 2.3.1; y evaluar el flujo de calor entre ellas.

Conociendo los resultados de transferencia de cada sección se puede aproximar un cálculo de la pérdida de calor por metro cuadrado del contenedor. Un factor importante a tener en cuenta es la temperatura ambiente, ya que este permita identificar las pérdidas máximas que presentaría el contenedor en condiciones extremas de temperatura. Con dicho cálculo se podría conocer cuántas toneladas de refrigeración requeriría el contenedor. Se espera que con la ejecución de esta metodología se logre el objetivo propuesta y pueda servir de base para futuras investigaciones.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

La presente experimentación, la cual permite comprobar que las hipótesis planteadas sean reales, está compuesta por dos secciones complementarias para responder a la metodología descrita en el capítulo anterior. Dentro de la primera se buscó maximizar el área útil de un determinado espacio, en este caso un contenedor, considerando sus dimensiones y el tipo de embalaje a través de un modelo matemático lineal entero mixto (MIP); la segunda consistió en que a partir del diseño de contenerización resultante del modelo matemático, se analizó el comportamiento térmico en condiciones extremas utilizando dos productos.

4.1 MODELACIÓN PARA CONSOLIDACIÓN DE CARGA

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de la modelación matemática era empaquetar un número ilimitado de tarimas (rectángulos) de tamaños diferentes en un contenedor rectangular de dimensiones fijas. Para esto se recreó una malla bidimensional que asimila la forma de un contenedor de 20' y 40', marca Hapag-Lloyd refrigerado en cuanto a medidas internas (Communication, 2011); de esta manera se generaron nodos sobre los cuales el sistema analizó la viabilidad de ubicar un centro de la tarima sobre él.

El *software* utilizado fue el *General Algebraic Modeling System (GAMS)*, un sistema de modelado para programación y optimización matemática. Se compone de un lenguaje de compilación y un solucionador de alto rendimiento. GAMS está específicamente diseñado para problemas de optimización de números enteros lineales, no lineales y mixtos (System, 2017). Para efectuar las pruebas se utilizó CPLEX versión 12, utilizando un equipo ASUS *A44H* con procesador Intel Core *i3 - 2330M2.20GHz*, con RAM de *4.00GB*.

Después de alimentado el *software* se obtuvieron los primeros resultados acordes al diseño previamente estudiado en la figura 3.2, con la finalidad de demostrar la eficacia del modelo matemático para la contenerización de carga mixta. De esta manera se realizaron otras pruebas modificando el número de nodos y dimensiones del contenedor.

4.1.1 EXPERIMENTACIONES CON CONTENDOR DE 20'

Dentro de los supuestos se encuentran la utilización de tarimas P10 ($120 \times 100cm$) con peso aproximado de $12kg$ y cestas $40 \times 50cm$ con un peso de entre $4 - 6kg$ cada una. La máxima altura del paletizado, dadas las características del contenedor y manteniendo la distancia de $12cm$ desde el techo a la carga, es de $1,95m$, siendo su peso total de $480kg$. Las dimensiones de un contenedor refrigerado marca Hapag-Lloyd de 20' se muestran en la tabla 4.1. La altura solo se consideró para obtener el peso de cada paletizado, ya que no era determinante para la ubicación de las tarimas.

Tabla 4.2: Resultados óptimos en contenedor de 20'

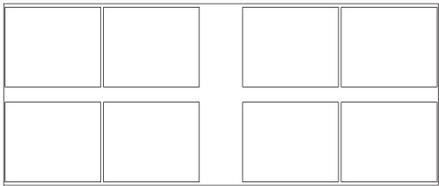
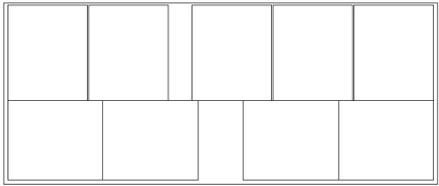
<i>Malla</i>		<i>Resultados</i>		<i>Imagen</i>
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>k1</i>	<i>k2</i>	
54	22	0	8	
60	30	5	4	

Tabla 4.1: Medidas Contenedor refrigerado de 20' Hapag-Lloyd

<i>Dimensiones (mm)</i>				<i>Peso (Kg)</i>	
<i>Exterior</i>		<i>Interior</i>			
<i>Alto</i>	2264	<i>Alto</i>	2159	<i>Peso bruto</i>	32000
<i>Ancho</i>	2290	<i>Ancho</i>	2280	<i>Tara</i>	2860
<i>Largo</i>	5450	<i>Largo</i>	5450	<i>Carga útil</i>	29140

Las mallas se construyeron a partir de la división del eje $x(m)$ en i puntos y del eje $y(n)$ en j puntos. De esta manera se diseñaron para este tipo de contenedor mallas de $m/54/n/22/$ con un total de 1188pts y $m/60/n/30/$ con un total de 1800pts. Al experimentarse con mallas más precisas los resultados generados por esta última no cambiaron. En la tabla 4.2 se muestran los resultados óptimos obtenidos para cada malla.

4.1.2 EXPERIMENTACIONES CON CONTENEDOR DE 40'

Dentro de los supuestos se encuentran la utilización de tarimas P10 ($120 \times 100\text{cm}$) con peso aproximado de 12kg y cestas $40 \times 50\text{cm}$ con un peso de entre $4 - 6\text{kg}$ cada una. La máxima altura del paletizado, dadas las características del contenedor y manteniendo la distancia de 12cm desde el techo a la carga, es de $2,25\text{m}$, siendo su peso total de 552kg . Las dimensiones de un contenedor refrigerado marca Hapag-Lloyd de 40' se muestran en la tabla 4.3. La altura solo se consideró para obtener el peso de cada paletizado, ya que no era determinante para la ubicación de las tarimas.

Tabla 4.3: Medidas Contenedor refrigerado de 40' HC Hapag-Lloyd

<i>Dimensiones (mm)</i>				<i>Peso (Kg)</i>	
<i>Exterior</i>		<i>Interior</i>			
<i>Alto</i>	2557	<i>Alto</i>	2425	<i>Peso bruto</i>	34000
<i>Ancho</i>	2290	<i>Ancho</i>	2290	<i>Tara</i>	4420
<i>Largo</i>	11599	<i>Largo</i>	11599	<i>Carga útil</i>	29580

Las mallas diseñadas para este tipo de contenedor fueron $m/54/n/22/$ con un total de 1188pts , $m/60/n/30/$ con un total de 1800pts , $m/66/n/33/$ con un total de 2178pts y $m/68/n/36/$ con un total de 2448pts dentro del contenedor. Al experimentarse con mallas más precisas los resultados generados por esta última no cambiaron. En la tabla 4.4 se muestran los resultados óptimos obtenidos para cada malla.

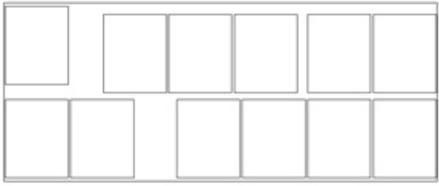
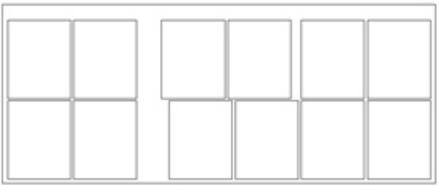
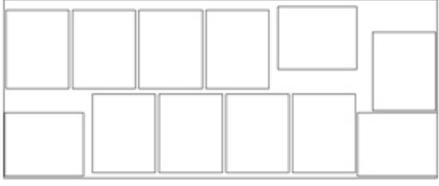
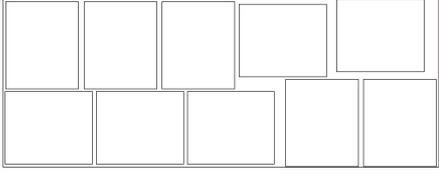
Tabla 4.4: Resultados óptimos en contenedor de 40'HC

Malla		Resultados		Imagen
m	n	$k1$	$k2$	
54	22	2	14	
60	30	7	11	
66	33	10	9	
68	36	10	10	

De acuerdo a los resultados generados para cada tipo de contenedor, se observa que entre más fina la malla mejores resultados se logran obtener. La contenerización más adecuada para un Hapag-Lloyd de 20' es de 9 paletizados en total y para un Hapag-Lloyd de 40' HC es de 20 paletizados. La restricción de peso en ninguno de los casos se violó, dado que es una carga más de volumen que de peso.

De manera complementaria se realizaron experimentaciones con un contenedor de 20' y el uso de Europalet $P8(100 \times 80cm)$, obteniendo como mejor solución el cargue de 12 *pallets* en diferentes combinaciones de tarima tipo k . Los resultados se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Resultados óptimos en contenedor de 20' utilizando Europalet

<i>Malla</i>		<i>Resultados</i>		<i>Imagen</i>
<i>m</i>	<i>n</i>	<i>k1</i>	<i>k2</i>	
54	22	12	0	
60	30	12	0	
66	33	8	3	
68	36	5	5	

El modelo matemático propuesto no solo permite trabajar con *pallets*, sino también con carga suelta embalada en cajas rectangulares de diferentes tamaños, siempre y cuando se conserve una misma altura total de la carga dentro del contenedor, ya sea o no refrigerado.

4.2 ANÁLISIS DEL FLUJO DE CALOR

A partir del segundo diseño óptimo de contenerización generado para un contenedor de 20', se analizó la transferencia de calor en condiciones extremas de temperatura, utilizando la combinación de dos productos compatibles. La finalidad de

esto era comprobar que al utilizar un producto (con conductividad térmica inferior), como aislante del otro producto se redujera el consumo de energía dentro de un contenedor refrigerado. Esta sección se divide en dos partes: análisis de compatibilidad y análisis térmico. Las consideraciones para ambos casos son las siguientes:

- La temperatura del aire y la materia es uniforme.
- La transferencia de calor se realiza por conducción, convección y radiación.
- Se conoce el comportamiento del aire al interior del contenedor.
- Se conocen los valores de conductividad y resistencia térmica de cada producto/material.
- Se conocen dimensiones de los paletizados y el contenedor.
- Los paletizados tienen una misma altura.
- El producto tipo A es compatible con el producto tipo B y viceversa.

4.2.1 ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD

Como se mencionó en el capítulo dos, era necesario obtener dos productos que fueran compatibles en aspectos tales como necesidades de temperatura, humedad relativa, emisión de gases y propiedades organolépticas; que a su vez variaran en el valor de conductividad térmica $\lambda(\frac{W}{m^{\circ}C})$. Por ello, se tomó un grupo de compatibilidad de la tabla 2.2 y se determinó cuales productos podrían ser utilizados para la comprobación. En la figura 4.1 se muestra el extracto tomado de la misma y la selección de los productos, misma que corresponde a berenjena como producto principal (A) y aguacate como producto aislante (B). Luego de esto se realiza el análisis térmico que se presenta a continuación.

G. Comp.	Fruta/verdura	Temp.°C	HR (%)	CP encima	CP debajo	$\Delta(W/m^{\circ}C)$
	Aceitunas, frescas	13-18	85-90	-	-	0.28
	Aguacates	13-18	85-90	0.72	0.4	0.429
	Bananas	13-18	85-90	0.8	0.42	0.481
	Berenjenas	13-18	85-90	0.94	0.48	0.31
	Guayaba	13-18	85-90	-	-	0.29
	Limas	13-18	85-90	0.85	0.46	0.29
DOS	Mangos	13-18	85-90	0.85	0.44	-
	Melones	13-18	85-90	0.94	0.48	0.31
	Papayas	13-18	85-90	-	-	0.31
	Piñas (no con aguacates)	13-18	85-90	0.88	0.45	0.30
	Sandías	13-18	85-90	0.97	0.48	-
	Tomates, rosados	13-18	85-90	0.95	0.48	0.31
	Tomates, verdes	13-18	85-90	-	-	0.27
	Toronjas	13-18	85-90	0.9	0.46	0.30

Figura 4.1: Extracto de la tabla de grupos de compatibilidad de alimentos

4.2.2 ANÁLISIS TÉRMICO

Dentro de este análisis se inspeccionó la pérdida de energía al contenerizar únicamente producto tipo A (berenjena) dentro del contenedor refrigerado de 20', para posteriormente compararlo con uno cargado de ambos productos, es decir A con B (aguacate). Para el producto tipo A se tomaron en consideración los materiales que se encuentran presentes en las paredes del contenedor, tales como la espuma de poliuretano con conductividad térmica de $0.026 \frac{W}{(m^{\circ}C)}$, al igual que las placas de aluminio que la revisten con conductividad térmica de $209.3 \frac{W}{(m^{\circ}C)}$. En la figura 4.2 se observa su distribución.

El contenedor refrigerado se dividió en 6 caras: lado I (lado derecho), lado I' (lado izquierdo), lado II (parte delantera), lado II' (parte trasera), lado III (parte superior) y lado III' (parte inferior), lo cual se observa en la figura 3.3. A su vez cada una de ellas se dividió en dos partes partiendo desde el centro de forma simétrica. Por cada cara se cuantificó la rapidez de la pérdida de energía desde la temperatura superficial del producto tipo A hasta la temperatura superficial de la placa exterior, tomando en cuenta la radiación solar máxima que recibiría y el ambiente exterior, los cuales varían según la cara del contenedor. La diferencia de temperatura (δ) entre la superficial del producto tipo A y la placa exterior afecta la rapidez con la cual

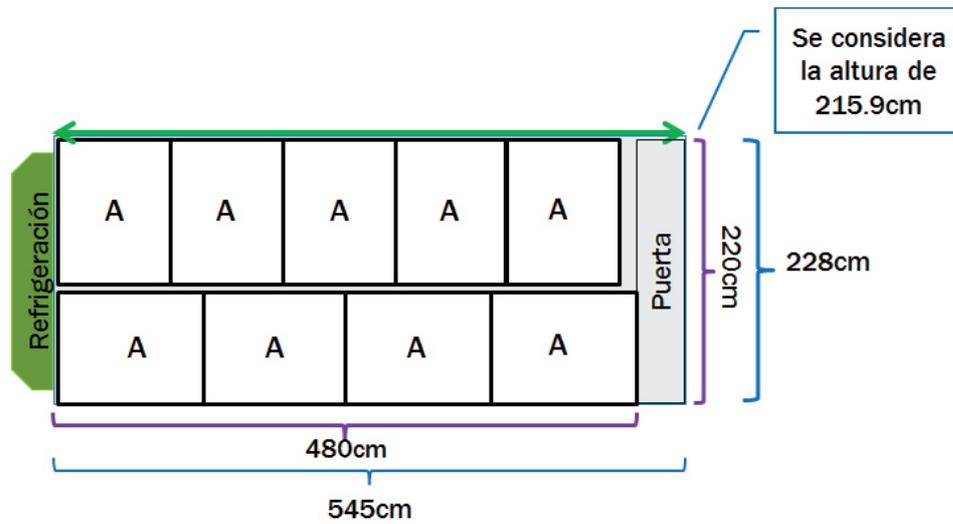


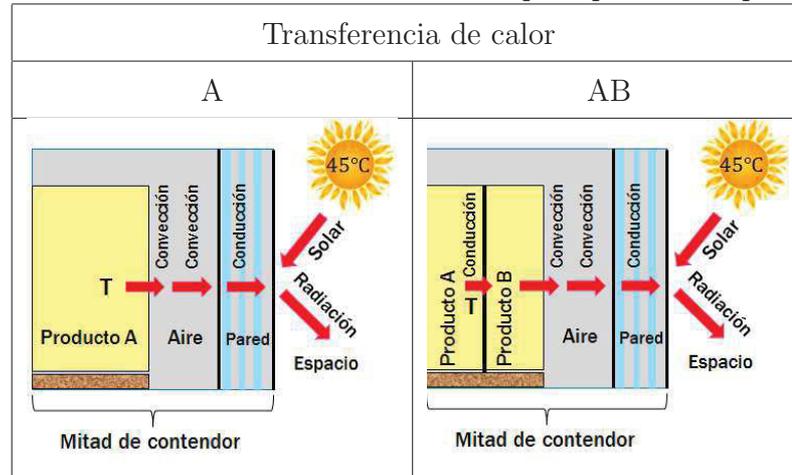
Figura 4.2: Contenerización producto tipo A

ocurre la transferencia de calor (ver también tabla 4.6).

Cuando se transporta solo producto tipo A se presenta transferencia por convección al salir del producto tipo A al aire, de igual manera se presenta convección del aire a la placa interior, después ocurre conducción al pasar de la placa interior por la espuma de poliuretano hasta la placa exterior, para finalmente ser afectado por la temperatura superficial como se aprecia en la tabla 4.6. Identificar esto permitió calcular la resistencia térmica que presentaba cada uno de los materiales aislantes, siendo en este caso en particular la espuma de poliuretano la que brindaba mayor resistencia. La rapidez de conducción de calor obtenida fue de $0.801 kW$ y de $0.0138 \frac{kW}{m^2}$.

Después de recopilar los primeros datos para la contenerización de producto tipo A se procedió a realizar el mismo análisis anteriormente descrito, pero en este caso la carga de producto tipo B se consideró como una masa con cierto espesor y conductividad térmica de $0,4496 \frac{W}{m^{\circ}C}$ como se aprecia en la figura 4.3 donde se observa el interior de los paletizados, ya que el producto tipo A debe estar totalmente cubierto por el producto tipo B, es decir que tanto arriba como abajo de cada paletizado debe haber carga de B. De igual manera se calculó la resistencia del

Tabla 4.6: Proceso de transferencia de calor para producto tipo A y AB



producto tipo B con respecto al A. Para este caso la rapidez de conducción de calor obtenida fue de $0.608kW$ y de $0.0104 \frac{kW}{m^2}$.

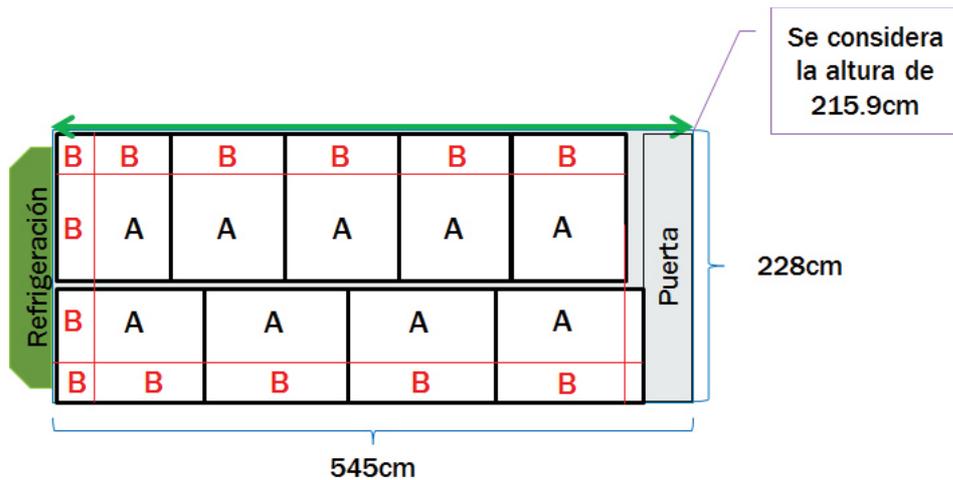


Figura 4.3: Contenerización producto tipo A y B

En cada caso se identificó la velocidad de pérdida de calor total por segundo y por metro cuadrado por segundo que presentaría el contenedor en condiciones extremas de temperatura; en este caso se tomó en consideración una temperatura ambiente de $45^{\circ}C$.

Al utilizar el producto tipo B como aislante del tipo A se obtuvo un ahorro de $0.193kW$. Si consideramos un traslado por 30 días se obtendría un ahorro de

138.91kW por contenedor; adicional a esto si el valor por kW es de 3.5 pesos/kWh el ahorro monetario ascendería a 486.19 pesos mexicanos por contenedor. Cabe recordar que este ahorro es sobre un contenedor relativamente pequeño como lo es uno de 20', con una temperatura necesaria relativamente alta para el mantenimiento de los productos. La herramienta utilizada para esto fue la construcción de un plantilla en Excel, la cual se muestra en el anexo 1 y 2.

4.2.2.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN

El contenedor integral es actualmente el más utilizado durante el transporte de productos perecederos, ya que este posee una unidad de refrigeración fijada en la pared posterior del contenedor, usando electricidad trifásica para el proceso de refrigeración. El flujo de aire frío viaja a través de los productos dentro del contenedor. El aire entra por medio de las rejillas del suelo y luego se extrae por debajo del techo del contenedor. Los ventiladores de circulación, fuerzan el aire a través del refrigerador, que también actúa como evaporador en el circuito de frío. Cuando se trata de productos congelados pre-enfriados, el aire debe fluir alrededor de los productos, ya que no se requiere disipar calor al interior, sólo se disipa el calor que penetra en el contenedor a través del aislamiento exterior. No obstante, si se transporta fruta, el flujo de aire debe fluir a través de la carga, ya que esta genera calor que debe ser disipado (Rovira Monge, 2015).

Para este caso en particular donde son frutas las que se transportan como son la berenjena y el aguacate, se consideró realizar un pre-enfriamiento de la carga a una temperatura de 13°C y utilizar cajas perforadas que permitieran la circulación del aire a través de los productos. Para definir un aproximado de la carga de refrigeración necesaria para el mantenimiento de la temperatura establecida, se tomó en consideración el espacio del contenedor, la presión del aire y la temperatura interna y externa; así como la densidad, masa y calor específico del aire, el producto A (berenjena) y el producto B (aguacate).

De acuerdo a los cálculos realizados en la plantilla de Excel las toneladas de refrigeración requeridas por el contenedor para mantener la temperatura a $13^{\circ}C$ son de 9.76 con carga pre-refrigerada, para un consumo total de 34.352 *KW* por 60 días.

De esta manera se concluye que combinando una contenerización óptima con el uso de un producto de conductividad térmica baja como aislante, se logra un reducción significativa de energía, lo cual se traduce en una reducción de costos durante el transporte refrigerado, aspecto relevante para la mejora de las condiciones dentro de la cadena de frío y la competitividad de las empresas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

La cadena de frío es un sistema complejo, aún más que una cadena de suministro tradicional, debido a que esta requiere un control tanto de temperatura como de humedad a lo largo de la misma, y el tiempo, más que un factor de entrega efectiva, determina si un producto perecedero aún se encuentra en condiciones de consumo, protegiendo de esta manera la seguridad alimentaria de las personas. Cualquier mecanismo que ayude a prolongar la vida de un alimento es de suma importancia.

Este proceso ha permitido que el manejo, control y transporte de productos perecederos durante largos trayectos sea posible, no obstante y a pesar de los grandes avances en esta materia, todavía existen ciertas limitaciones en su estructuración, así como la generación de mecanismos efectivos que permitan una adecuada conservación de los alimentos. Las empresas no están en la capacidad de transportar productos perecederos en trayectos internacionales, procurando siempre mantener su distribución dentro del lugar de origen para evitar su pérdida. Otro motivo adyacente son los altos costos que representa el mantenimiento de la temperatura, especialmente durante el transporte, el cual se ve afectado por diversos factores externos como son la temperatura ambiente, el movimiento y la disponibilidad de fuentes de enfriamiento adecuadas; requiriendo un alto consumo energético y el cuidado minucioso pero eficiente del proceso.

Se podría decir que la temperatura es el principal factor en la consolidación de la cadena de frío y su aprovechamiento es crucial para generar ventajas competitivas. Si una empresa logra reducir el costo de utilizar una unidad de refrigeración, como son los contenedores, o aprovechar de manera adecuada el espacio disponible dentro de este, probablemente observe mayor rentabilidad en sus operaciones logísticas.

Esta investigación permitió comprobar la hipótesis de que, al realizar un adecuado proceso de contenerización y posteriormente utilizar un producto como aislante térmico del otro, dentro de un contenedor refrigerado, se reducía el consumo energético y por consiguiente su valor monetario; mejorando de esta manera la rentabilidad y tiempos de transporte.

La propuesta de contenerización que se presentó, pretende consolidar y ampliar los conocimientos sobre las propiedades de los alimentos transportados y comenzar a identificar las ventajas que los mismos pueden tener, sin demandar grandes inversiones por parte de las empresas.

5.1 PRINCIPALES APORTACIONES

Dentro de la investigación se tratan dos aspectos importantes durante la contenerización refrigerada de productos perecederos: la optimización del espacio disponible y la eficiencia en el consumo de energía.

En algunos casos las empresas no cuentan con un medio que les facilite el proceso de llenado de los contenedores y optan por alternativas empíricas que a larga ponen en riesgo la conservación de los productos y generan desperdicio de espacio. Es por ello, que principalmente se pensó en generar una herramienta flexible, en cuanto a medidas y peso, capaz de acomodar la mayor cantidad posible de *pallets* o embalajes dentro del contenedor, diseñando de esta manera un modelo matemático lineal entero mixto, que en corto tiempo fuera capaz de arrojar una contenerización apropiada.

El modelo propuesto es funcional siempre y cuando la carga tenga una misma altura, algo que ocurre en la contenerización refrigerada para permitir la circulación del aire, considerándose el proceso de acomodo dentro un espacio bidimensional. De acuerdo a la literatura revisada, entre menos espacio haya al interior del contenedor, mejores son las condiciones para la preservación de los alimentos. La altura se puede llegar a considerar generalizando el modelo a 3 dimensiones.

Para el uso empresarial del modelo propuesto, es necesaria la adquisición de algún paquete computacional como GAMS. En el mercado existen diversos *software* capaces de generar un patrón de acomodo, no obstante, son costosos y por ser plataformas interactivas requieren de actualizaciones constantes. Adicionalmente, la mayoría de estas poseen una lista de opciones predeterminadas para las medidas de los contenedores, sin tomar en consideración las variaciones entre navieras. Los resultados del modelo son óptimos y prácticos, siendo una buena opción.

En el mercado hay empresas que todos los días transportan productos perecederos combinados, basados en la compatibilidad entre estos, sin embargo, no se había analizado la posibilidad, de que al acomodar estratégicamente los diferentes productos, pudiera generarse un ahorro de energía. Es aquí donde se propuso un diseño de cubrimiento por parte del producto tipo B como aislante sobre el producto tipo A, para posteriormente analizar si al contenerizar productos con conductividad térmica diferente, pero compatibles entre sí, se lograba un ahorro del consumo energético. La experimentación a partir de la construcción de una plantilla en Excel fue exitosa, de tal manera que cualquier empresa pueda cambiar los datos principales y analizar el costo de oportunidad de transportarlos de la manera propuesta.

Se espera que este trabajo se tome en consideración para el mejoramiento de la cadena de frío y permita afianzar el transporte de los alimentos perecederos por medio de contenedores refrigerados, como una buena opción.

5.2 TRABAJO FUTURO

Para futuras investigaciones a partir de lo propuesto, sería interesante abarcar otras posibilidades y consideraciones dentro de la modelación matemática, como bien pueden ser el delimitar la demanda de productos que se tenga para cada tipo o la graficación de estos combinados al interior del contenedor, considerándose de esta manera una tercera dimensión. De igual manera lograr vincular el modelo matemático con la plantilla de Excel permitiría mayor eficiencia y precisión en la generación de resultados que apoyen la toma de decisiones.

En cuando al análisis de transferencia de calor, considerar acomodar física o virtualmente los productos para posteriormente evaluar los resultados y verificar las diferentes con esta propuesta, permitirían mejores las aproximaciones concebidas.

De la mano de equipos multidisciplinarios, se podrían mejorar diversos factores que se plantean dentro del trabajo, como son la compatibilidad de cargas y el funcionamiento térmico de contenedores, tomando en consideración las características propias de este tipo de productos.

APÉNDICE A

ANEXOS

A.1 ANEXO 1

A continuación se muestran los componentes de la plantilla en Excel, diseñados para el cálculo de la transferencia de calor, el cual está dividido por caras del contenedor como se vio anteriormente en la figura 3.3. Desde la figura A.1 a la figura A.3, se observa la estructura del cálculo realizado para el uso único de producto A dentro del contenedor refrigerado; específicamente se tomaron en consideración los datos bibliográficos referentes a la Berenjena. Por otra parte Desde la figura A.4 a la figura A.6 se muestran los cálculos realizados para la combinación de producto A (berenjena) con producto B (aguacate) como aislante.

A.2 ANEXO 2

La figura A.7 muestra el calculo de capacidad de enfriamiento del contenedor de 20'.

Conducción			Convección			Convección			Convección			Conducción			Conducción		
Producto B			Producto A & Aire interior			Aire & Placa Interior AI			Placa Interior AI			Espuma Poliuretano			Placa Exterior AI		
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad
Altura	2.1	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.159	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.159	[m]	Altura	2.16	[m]
Largo	4.80	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]
A tarima	10.08	[m ²]	A placa int	11.77	[m ²]	A placa int	11.76655	[m ²]	A placa int	11.77	[m ²]	A poliuretano	11.76655	[m ²]	A placa ext	11.77	[m ²]
Ancho		[m]	h	10	[W / °C m ²]	h	10	[W / °C m ²]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]	Ancho	0.077	[m]
k manzana		[W/m °C]	R aire	0.00992	[°C / W]	R aire	0.00850	[°C / W]	k AI	209.3	[W/m °C]	k Espuma P	0.026	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]
RA		[°C / W]				R placa int	0.00003127	[°C / W]	R Placa int	0.00003127	[°C / W]	Ra	0.1961	[°C / W]	R Placa ext	0.00003127	[°C / W]
Calculo			Calculo			Calculo			Calculo			Calculo			Calculo		
R total	0.2146	[°C / W]	T ambiente, max	45	[°C]	T ambiente, max	45	[°C]	R total	0.2146	[°C / W]	T ambiente, max	45	[°C]	R total	0.2146	[°C / W]
TA	13	[°C]	α absorción	0.15		α absorción	0.15		TA	13	[°C]	α absorción	0.15		TA	13	[°C]
T Ext	48	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]	q solar	1000	[W / m ²]	T Ext	48	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]	T Ext	48	[°C]
Q	163.09	[W]	h combinado	50	[W / m ² °C]	h combinado	50	[W / m ² °C]	Q	163.09	[W]	h combinado	50	[W / m ² °C]	Q	163.09	[W]
			T superficie	48		T superficie	48					T superficie	48				

Figura A.1: Cálculo lado derecho (I) y lado izquierdo (I') solo con producto A

Conducción		Convección		Convección		Convección		Convección		Conducción		Conducción		Conducción	
Producto A		Producto A & Aire interior		Aire & Placa Interior AI		Placa Interior AI		Espuma Poliuretano		Placa Exterior AI		Espuma Poliuretano		Placa Exterior AI	
Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor
Altura	2.1	Altura	2.1	Altura	2.10	Altura	2.16	Altura	2.16	Altura	2.16	Altura	2.16	Altura	2.16
Largo	[m]	Largo	2.20	Largo	2.20	Largo	2.28	Largo	2.28	Largo	2.28	Largo	2.28	Largo	2.28
A tarima	[m ²]	A tarima	4.62	A placa int	4.62	A placa int	4.92	A poliuretano	4.9252	A placa ext	4.92	A poliuretano	4.9252	A placa ext	4.92
Ancho	[m]	h	10	h	10	Ancho	0.077	Ancho	0.06	Ancho	0.077	Ancho	0.06	Ancho	0.077
k manzana	[W/m ² °C]	R aire	0.02165	R aire	0.02165	k AI	209.3	k Espuma P	0.026	k AI	209.3	k Espuma P	0.026	k AI	209.3
RA	[°C/W]	R aire	0.02165	R aire	0.02165	R Placa int	0.00007474	R Placa int	0.00007474	R Placa ext	0.00007474	R Placa ext	0.00007474	R Placa ext	0.00007474
Calculo		T ambiente_max	45	T ambiente_max	45										
R total	0.5122	α absorbilidad	0.15	α absorbilidad	0.15										
TA	13	q solar	1000	q solar	1000										
T Ext	48	h combinado	50	h combinado	50										
Q	68.33	T superficie	48	T superficie	48										

Conducción		Convección		Convección		Convección		Convección		Conducción		Conducción		Conducción	
Producto A		Producto A & Aire interior		Aire & Placa Interior AI		Placa Interior AI		Espuma Poliuretano		Placa Exterior AI		Espuma Poliuretano		Placa Exterior AI	
Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor	Dato	Valor
Altura	[m]	Altura	2.1	Altura	2.10	Altura	2.16	Altura	2.16	Altura	2.16	Altura	2.16	Altura	2.16
Largo	[m]	Largo	2.20	Largo	2.20	Largo	2.28	Largo	2.28	Largo	2.28	Largo	2.28	Largo	2.28
A tarima	[m ²]	A tarima	4.62	A placa int	4.62	A placa int	4.92	A poliuretano	4.9252	A placa ext	4.92	A poliuretano	4.9252	A placa ext	4.92
Ancho	[m]	h	10	h	10	Ancho	0.077	Ancho	0.06	Ancho	0.077	Ancho	0.06	Ancho	0.077
k manzana	[W/m ² °C]	R aire	0.02165	R aire	0.02165	k AI	209.3	k Espuma P	0.026	k AI	209.3	k Espuma P	0.026	k AI	209.3
RA	[°C/W]	R aire	0.02165	R aire	0.02165	R Placa int	0.00007474	R Placa int	0.00007474	R Placa ext	0.00007474	R Placa ext	0.00007474	R Placa ext	0.00007474
Calculo		T ambiente_max	45	T ambiente_max	45										
R total	0.5122	α absorbilidad	0.15	α absorbilidad	0.15										
TA	13	q solar	1000	q solar	1000										
T Ext	48	h combinado	50	h combinado	50										
Q	68.33	T superficie	48	T superficie	48										

Figura A.2: Cálculo puerta (II) y parte trasera (II') solo con producto A

Conducción			Convección			Convección			Convección			Conducción			Conducción			Conducción					
Producto A			Producto A & Aire interior			Aire & Placa Interior AI			Placa Interior AI			Espuma Poliuretano			Placa Exterior AI								
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad			
Altura	2.2	[m]	Altura	2.2	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]
Largo	4.80	[m]	Largo	4.80	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]
A tarima	10.56	[m ²]	A tarima	10.56	[m ²]	A placa int	12.43	[m ²]	A placa int	12.43	[m ²]	A poliuretano	12.426	[m ²]	A placa ext	12.43	[m ²]	A placa ext	12.43	[m ²]	A placa ext	12.43	[m ²]
Ancho		[m]	h	10	[W / °C m ²]	h	10	[W / °C m ²]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.077	[m]
k manzana		[W/m °C]	R aire	0.00947	[°C / W]	R aire	0.00805	[°C / W]	k AI	209.3	[W/m °C]	k Espuma P	0.026	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]
RA		[°C / W]	R aire	0.00947	[°C / W]	R aire	0.00805	[°C / W]	R Placa int	0.0002961	[°C / W]	Ra	0.1857	[°C / W]	R Placa ext	0.0002961	[°C / W]	R Placa ext	0.0002961	[°C / W]	R Placa ext	0.0002961	[°C / W]
Calculo			T ambiente_max	45	[°C]	T ambiente_max	45	[°C]															
R total	0.2033	[°C / W]	α absorbilidad	0.15		α absorbilidad	0.15																
TA	13	[°C]	q solar	1200	[W / m ² °C]	q solar	1200	[W / m ² °C]															
T Ext	48.6	[°C]	h combinado	50	[W / m ² °C]	h combinado	50	[W / m ² °C]															
Q	175.12	[W]	T superficie	48.6	[W]	T superficie	48.6	[W]															
Calculo			T ambiente_max	45	[°C]	T ambiente_max	45	[°C]															
R total	0.2033	[°C / W]	α absorbilidad	0.15		α absorbilidad	0.15																
TA	13	[°C]	q solar	500	[W / m ² °C]	Q total	164.79	[W]	Q total [kW]	0.802741	[kW / s]												
T Ext	46.5	[°C]	h combinado	50	[W / m ² °C]	Q total [kW / m ²]	0.0137857	[kW / s * m ²]															
Q	164.79	[W]	T superficie	46.5	[W]	Lo que pierdes de energia en 1 segundo Lo que pierdes de energia en 1 segundo por m 2																	

Figura A.3: Cálculo techo (III) y suelo (III') solo con producto A

Conducción			Convección			Convección			Convección			Conducción			Conducción			Conducción					
Producto B			Producto A & Aire interior			Aire & Placa Interior AI			Placa Interior AI			Espuma Poliuretano			Placa Interior AI			Espuma Poliuretano			Placa Interior AI		
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad
Altura	2.1	[m]	Altura	2.1	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.159	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]
Largo	4.80	[m]	Largo	4.80	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]
A tarima	10.08	[m ²]	A tarima	10.08	[m ²]	A tarima	11.77	[m ²]	A tarima	11.77	[m ²]	A tarima	11.76655	[m ²]	A tarima	11.77	[m ²]	A tarima	11.77	[m ²]	A tarima	11.77	[m ²]
Ancho	0.5	[m]	h	10	[W / °C m ²]	h	10	[W / °C m ²]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.077	[m]
k aguacate	0.4496	[W/m °C]	R aire	0.00992	[°C / W]	R aire	0.00850	[°C / W]	k AI	209.3	[W/m °C]	k Espuma P	0.026	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]	k AI	209.3	[W/m °C]
R A	0.1103	[°C / W]	R aire	0.00992	[°C / W]	R aire	0.00850	[°C / W]	R Placa int.	0.00003127	[°C / W]	Ra	0.1961	[°C / W]	R Placa int.	0.00003127	[°C / W]	R Placa ext.	0.00003127	[°C / W]	R Placa ext.	0.00003127	[°C / W]
Calculo			Calculo			Calculo			Calculo			Calculo			Calculo			Calculo			Calculo		
R total	0.3249	[°C / W]	T ambiente, max	45	[°C]	T ambiente, max	45	[°C]	R total	0.3249	[°C / W]	T ambiente, max	45	[°C]	T ambiente, max	45	[°C]	R total	0.3249	[°C / W]	T ambiente, max	45	[°C]
TA	13	[°C]	α absorción	0.15		α absorción	0.15		TA	13	[°C]	α absorción	0.15		α absorción	0.15		TA	13	[°C]	α absorción	0.15	
T EXT	48	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]	q solar	1000	[W / m ²]	T EXT	48	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]	q solar	1000	[W / m ²]	T EXT	48	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]
Q	107.71	[W]	h combinado	50	[W / m ² °C]	h combinado	50	[W / m ² °C]	Q	107.71	[W]	h combinado	50	[W / m ² °C]	h combinado	50	[W / m ² °C]	Q	107.71	[W]	h combinado	50	[W / m ² °C]
			T Superficie	48		T Superficie	48					T Superficie	48		T Superficie	48					T Superficie	48	

Figura A.4: Cálculo lado derecho (I) y lado izquierdo (I') Productos AB

Conducción			Convección			Convección			Convección			Conducción			Conducción		
Producto B			Producto A & Aire interior			Aire & Placa Interior AI			Placa Interior AI			Espuma Poliuretano			Placa Interior AI		
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad
Altura	2.1	[m]	Altura	2.1	[m]	Altura	2.10	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]
Largo	2.20	[m]	Largo	2.20	[m]	Largo	2.20	[m]	Largo	2.28	[m]	Largo	2.28	[m]	Largo	2.28	[m]
A tarima	4.62	[m ²]	A tarima	4.62	[m ²]	A tarima	4.62	[m ²]	A tarima	4.92	[m ²]	A tarima	4.92252	[m ²]	A tarima	4.92	[m ²]
Ancho	0.4	[m]	Ancho	0.4	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]	Ancho	0.077	[m]
k manzana	0.4496	[W/m ² °C]	h	10	[W / °C m ²]	h	10	[W / °C m ²]	k AI	209.3	[W/m ² °C]	k Espuma P	0.026	[W/m ² °C]	k AI	209.3	[W/m ² °C]
RA	0.1926	[°C / W]	R aire	0.02165	[°C / W]	R aire	0.02165	[°C / W]	R Placa Int	0.00007474	[°C / W]	Ra	0.4688	[°C / W]	R Placa ext	0.00007474	[°C / W]
Calculo			T ambiente, max	45	[°C]												
R total	0.7048	[°C / W]	α absorvidad	0.15													
TA	13	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]												
T Ext	48	[°C]	h combinado	50	[W / m ² °C]												
Q	49.66	[W]	T superficie	48													
LADO II																	
Conducción			Convección			Convección			Convección			Conducción			Conducción		
Producto B			Producto A & Aire interior			Aire & Placa Interior AI			Placa Interior AI			Espuma Poliuretano			Placa Interior AI		
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad
Altura	2.1	[m]	Altura	2.1	[m]	Altura	2.10	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]	Altura	2.16	[m]
Largo	2.20	[m]	Largo	2.20	[m]	Largo	2.20	[m]	Largo	2.28	[m]	Largo	2.28	[m]	Largo	2.28	[m]
A tarima	4.62	[m ²]	A tarima	4.62	[m ²]	A tarima	4.62	[m ²]	A tarima	4.92	[m ²]	A tarima	4.92252	[m ²]	A tarima	4.92	[m ²]
Ancho	0.4	[m]	Ancho	0.4	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]	Ancho	0.077	[m]
k manzana	0.4496	[W/m ² °C]	h	10	[W / °C m ²]	h	10	[W / °C m ²]	k AI	209.3	[W/m ² °C]	k Espuma P	0.026	[W/m ² °C]	k AI	209.3	[W/m ² °C]
RA	0.1926	[°C / W]	R aire	0.02165	[°C / W]	R aire	0.02165	[°C / W]	R Placa Int	0.00007474	[°C / W]	Ra	0.4688	[°C / W]	R Placa ext	0.00007474	[°C / W]
Calculo			T ambiente, max	45	[°C]												
R total	0.7048	[°C / W]	α absorvidad	0.15													
TA	13	[°C]	q solar	1000	[W / m ²]												
T Ext	48	[°C]	h combinado	50	[W / m ² °C]												
Q	49.66	[W]	T superficie	48													
LADO II'																	

Figura A.5: Cálculo puerta (II) y parte trasera (II') Productos AB

Conducción		Convección		Convección		Convección		Conducción		Conducción	
Producto B		Producto A & Aire interior		Aire & Placa Interior AI		Espuma Poliuretano		Placa Interior AI		Espuma Poliuretano	
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad
Altura	2.2	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]
Largo	4.80	[m]	Largo	4.80	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]
A tarima	10.56	[m ²]	A tarima	10.56	[m ²]	A tarima	12.43	[m ²]	A tarima	12.426	[m ²]
Ancho	0.15	[m]	Ancho	0.15	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]
k	0.450	[W/m ² °C]	h	10	[W / °C m ²]	k AI	209.3	[W/m ² °C]	k AI	209.3	[W/m ² °C]
RA	0.0316	[°C / W]	R aire	0.00947	[°C / W]	R aire	0.00805	[°C / W]	R Placa int	0.00002961	[°C / W]
Calculo			T ambiente, max	45	[°C]						
R total	0.2349	[°C / W]	α absorvidad	0.15							
TA	13	[°C]	q solar	1200	[W / m ²]						
TExt	48.6	[°C]	h combinado	50	[W / m ² °C]						
Q	151.56	[W]	T superficie	48.6							
LADO III											
Conducción		Convección		Convección		Convección		Conducción		Conducción	
Producto B		Producto A & Aire interior		Aire & Placa Interior AI		Espuma Poliuretano		Placa Interior AI		Espuma Poliuretano	
Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad	Dato	Valor	Unidad
Altura	2.2	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]	Altura	2.28	[m]
Largo	4.80	[m]	Largo	4.80	[m]	Largo	5.45	[m]	Largo	5.45	[m]
A tarima	10.56	[m ²]	A tarima	10.56	[m ²]	A tarima	12.43	[m ²]	A tarima	12.426	[m ²]
Ancho	0.15	[m]	Ancho	0.15	[m]	Ancho	0.077	[m]	Ancho	0.06	[m]
k	0.45	[W/m ² °C]	h	10	[W / °C m ²]	k AI	209.3	[W/m ² °C]	k AI	209.3	[W/m ² °C]
RA	0.0316	[°C / W]	R aire	0.00947	[°C / W]	R aire	0.00805	[°C / W]	R Placa int	0.00002961	[°C / W]
Calculo			T ambiente, max	45	[°C]						
R total	0.2349	[°C / W]	α absorvidad	0.15							
TA	13	[°C]	q solar	500	[W / m ²]						
TExt	46.5	[°C]	h combinado	50	[W / m ² °C]						
Q	142.64	[W]	T superficie	46.5							
LADO III'											
		Q total [kw]		0.609 [k / s]		Lo que pierdes de energia en 1 segundo					
		Q total [kW / m ²]		0.01 [k / s * m ²]		Lo que pierdes de energia en 1 segundo por m 2					
		Ahorro [kW]		0.194							
		Ahorro [mes/contenedor]		139.5							
		Ahorro \$/contenedor		488.4							

Figura A.6: Cálculo techo (III) y suelo (III') Productos AB

Aire		Producto A		Producto B	
V ₁	0.9 [m ³]	L ₁	1.3 [m]	L ₁	5.5 [m]
V ₂	2.6 [m ³]	L ₂	2.0 [m]	L ₂	2.3 [m]
V ₃	1.9 [m ³]	L ₃	4.4 [m]	L ₃	2.2 [m]
V _{aire}	5.4 [m ³]	V _{producto A}	11.2 [m ³]	V _{cuarto}	10.3 [m ³]
T ₁	32.0 [°C]	T ₁	32.0 [°C]	T ₁	32.0 [°C]
T ₂	13.0 [°C]	T ₂	13.0 [°C]	T ₂	13.0 [°C]
T ₁ - T ₂	19.0 [°C]	T ₁ - T ₂	19.0 [°C]	T ₁ - T ₂	19.0 [°C]
Presión del Aire	100.0 [kPa]				
R constante del gas	0.3 [kPa * m ³ / kg * K]	Densidad del Producto A	376.7 [kg / m ³]	Densidad del Producto B	1387.9 [kg / m ³]
Densidad del aire	1.2 [kg / m ³]	Masa de Producto A	2941.2 [kg]	Masa de Producto B	9979.3 [kg]
masa de aire	6.6 [kg]	Calor Especifico	1.0 [kJ / kg * °C]	Calor Especifico	1.0 [kJ / kg * °C]
Calor Especifico	1.0 [kJ / kg * °C]	Q [Energía]	56273.7 [kJ]	Q [Energía]	190934.0 [kJ]
Q [Energía]	125.9 [kJ]	Rapidez de enfriamiento	120.0 [min]	Rapidez de enfriamiento	120.0 [min]
Rapidez de enfriamiento	120.0 [min]	Q [Energía/tiempo]	7.8 [kW]	Q [Energía/tiempo]	26.5 [kW]
Q [Energía/tiempo]	0.017 [kW]	Diametro	0.065 [m]	Radio	0.0381 [m]
		Longitud	0.2 [m]	Volumen	0.00030 [m ³]
Q [kW]	34.352	Volumen	0.00066 [m ³]	Peso	0.418 [kg]
TON refrigeración	9.76738	Peso	0.25 [kg]	Densidad	1387.935848 [kg / m ³]
		Densidad	376.69809 [kg / m ³]		

Figura A.7: Capacidad de enfriamiento

BIBLIOGRAFÍA

- ASADI, G., E. HOSSEINI *et al.* (2014), «Cold supply chain management in processing of food and agricultural products», *Sci. Pap. Ser. D Anim. Sci*, **57**, págs. 223–227.
- ASHBY, B. H. (1987), «Protecting perishable foods during transport by truck», *Agriculture handbook-United States. Dept. of Agriculture (USA)*.
- BARREIRO, P. y J. I. ROBLA (2004), «Transporte frigorífico internacional de fruta: intermodalidad y sistemas de transporte inteligente», *Fruticultura profesional*, (144), págs. 53–58.
- BENTANCOURT, M., M. GARCÍA, H. GONZÁLEZ y R. GONZÁLEZ (2009), «Alimentos su conservación, almacenamiento y distribución», .
- ÇENGEL, Y. A. y A. GHAJAR (2007), *Transferencia de calor y masa*, segunda edición, Editorial: Editorial McGraw–Hill, México, DF.
- CHRISTIANSEN, B. (2016), «Handbook of Research on Global Supply Chain Management», .
- COMMUNICATION, H.-L. G. (2011), «Container Packing», .
- DYCKHOFF, H. (1990), «A typology of cutting and packing problems», *European Journal of Operational Research*, **44**(2), págs. 145–159.
- GUSTAVSSON, J., C. CEDERBERG, U. SONESSON, R. VAN OTTERDIJK y A. MEYBECK (2012), «Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo», .

- HODGSON, T. J. (1982), «A combined approach to the pallet loading problem», *IIE Transactions*, **14**(3), págs. 175–182.
- INZUNZA, B. *et al.* (2012), «Física: introducción a la mecánica y calor», .
- JIMÉNEZ, S. J. y C. J. JIMÉNEZ (2015), «Cubicaje: distribución a bajo costo», .
- JIMÉNEZ ARIZA, H. T., J. GARCÍA-HIERRO, B. DIEZMA IGLESIAS, P. BARREIRO ELORZA, E. C. CORREA HERNANDO y J. I. ROBLA VILLALBA (2011), «Registro y análisis del historial térmico durante el almacenamiento y el transporte refrigerado de productos mínimamente procesados», en *VI Congreso Ibérico de AgroIngeniería*, Agronomos.
- LITVINCHEV, I. y E. OZUNA (2014), «Approximate packing circles in a rectangular container: valid inequalities and nesting», *Journal of applied research and technology*, **12**(4), págs. 716–723.
- LODI, A., S. MARTELLO y M. MONACI (2002), «Two-dimensional packing problems: A survey», *European journal of operational research*, **141**(2), págs. 241–252.
- MITCHAM, B. (2011), «Monitoring Produce Quality Requires Good Temperature Management», *Food Logistics*.
- MSC (2016), «Cargo Stuffing Guide», *Informe técnico*, Mediterranean Shipping Company, consultado el 15 de noviembre de 2016 en <https://www.msc.com/esp/our-services/reefer-cargo/cargo-stuffing-guide>.
- MUÑOZ-POTOSI, A., L. PENCUE-FIERRO y J. LEÓN-TÉLLEZ (2009), «Análisis Termográfico Para La Determinación De Puntos Críticos En Equipos Mecánicos Y Eléctricos», *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, **7**(1), págs. 1–4.
- NAVARRO, H. (2013), «Logística en la cadena de frío», *Revista Zona Logística*, págs. 34–37.

- PELAYO, M. (2008), «La cadena de frío, elemento clave en seguridad alimentaria», Disponible en <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2008/12/18/182212.php>.
- PROCOLOMBIA (2014), «Logística de perecederos y cadena de frío en Colombia», *Informe técnico*, Procolombia.
- RENEDO, C. J. (2015), «Transporte Frigorífico», Disponible en <http://personales.unican.es/renedoc/docencia.htm#Hlt13>.
- RODRIGUEZ, I., F. LUIS POSAS, M. E. ECHEVERRI, P. CONTRERAS, L. OCHOA, C. PATRICIA, G. VASQUEZ, O. MAESTRE, C. G. VALLEJO, L. FERNANDO *et al.* (2014), «Perdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe.», *Informe técnico*, FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
- ROVIRA MONGE, J. O. (2015), «Transporte de mercancías perecederas en contenedor frigorífico», .
- SANZ, J. L. A. (2012), *Seguridad e higiene en la manipulación de alimentos*, Editorial Paraninfo.
- SARROCA, R. y M. TORRES (2006), «Manipulación y almacenamiento de alimentos», *La Habana: Logicuba*.
- SCHEITHAUER, G. y J. TERNO (1996), «The G4-heuristic for the pallet loading problem», *Journal of the Operational Research Society*, **47**(4), págs. 511–522.
- SENA (2014), «Caracterización de la carga», *Informe técnico*, Servicio Nacional de Aprendizaje.
- SOKOLOWSKI, J. A. y C. M. BANKS (2010), *Modeling and simulation fundamentals: theoretical underpinnings and practical domains*, John Wiley & Sons.
- SYSTEM, G. A. M. (2017), «An Introduction to GAMS», Consultado el 7 de julio de 2017 en <https://www.gams.com/products/introduction/>.

-
- UBIARCO, V. M. (2012), «Perecederos. Profesionalización de la cadena frío», *Logistic Summit and Expo. México D.F., México*.
- VALDÉS ARRIETA, M. L. (2010), «Controlando la cadena de frío», *Negocios Globales*.
- WÄSCHER, G., H. HAUSSNER y H. SCHUMANN (2007), «An improved typology of cutting and packing problems», *European journal of operational research*, **183**(3), págs. 1109–1130.
- YANASSE, H. H., R. MORABITO y M. N. ARENALES (2008), «Linear and non-linear models for staged two-dimensional guillotine cutting problems», en *Intelligent Decision Support*, Springer, págs. 69–88.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Liliana María Bermúdez Correa

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE CONTENERIZACIÓN EVALUANDO
LAS NECESIDADES TÉRMICAS DE PRODUCTOS PERECEDEROS

Aquí va tu historia. Recuerda que debe incluir: lugar y fecha de nacimiento, nombre de los padres, escuelas y universidades en las que se graduó después de la preparatoria, títulos o grados obtenidos (no incluir los estudios que se están concluyendo), experiencia profesional y organizaciones profesionales a las que pertenece (no incluir lista de publicaciones).