



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“REDISEÑO DE UN EMBALAJE DE MATERIAL AUTOMOTRIZ QUE
PERMITE DISMINUCIÓN DE COSTOS PARA EL TRANSPORTE E
INVENTARIO”**

TRABAJO TERMINAL DE GRADO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE
SUMINISTRO**

PRESENTA:

Ing. CARLOS DE LEÓN ALMARAZ

TUTOR ACADÉMICO:

M. en I. GASTON VERTIZ CAMARON

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, ABRIL 2017

Prefacio.

La elaboración del presente trabajo terminal de grado surge en el lugar donde actualmente me desempeño con la posición de ingeniero de calidad y enlace, debido a la observación de espacios disponibles dentro de los contenedores marítimos en los cuales se transporta material automotriz de la empresa en Asia a la cual represento, a la empresa en América a la que se le da soporte para el producto comercializado. Debido a esta observación surge la inquietud de saber si es posible generar una reducción de costos al alojar mayor cantidad de piezas dentro de un contenedor marítimo.

Por lo anterior, es que desde el primer semestre de la maestría se propuso como el caso de estudio para el trabajo terminal de grado y se dio inicio con la recolección de datos para que al plantearlo con las personas indicadas, ellas aprobaran un cambio en la forma como actualmente se realiza el proceso de envío de material.

Durante su elaboración se encontraron con dificultades y diferentes formas de abordar el tema, sin embargo siempre se consideró la reducción de costos como el factor esencial del trabajo de investigación aplicada.

En relación a la elección de un modelo matemático que logre la optimización de costos, se debió a que se eligiera la mejor solución y no sólo aproximaciones. Además de la caja actual, se consideran cinco tipos de cajas diferentes, de las cuales el modelo elegirá el tipo de caja que optimice los costos de transporte e inventario.

Por lo antes mencionado es importante aclarar que el presente trabajo terminal de grado esta dirigido a estudiantes, practicantes y en general a profesionistas involucrados con la administración de la cadena de suministro.

Contenido

Introducción	1
Pregunta de investigación	2
Hipótesis	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2

Capítulo I. Cadena de suministro proveedor-cliente y problemática que se enfrenta

1.1 Introducción	6
1.2 Cadena de suministro proveedor-cliente	6
1.3 Problemática	9

Capítulo 2. Herramienta de análisis y revisión de la literatura

2.1 Introducción	13
2.2 Mapa de flujo de valor (VSM)	13
2.3 Áreas de oportunidad detectadas	17
2.4 Revisión de la literatura	19
2.4.1 Problema de empaquetado con ítems idénticos (IIPP)	20
2.4.2 Problema de la mochila (KP)	21
2.4.3 Problema de la caja de embalaje (BPP)	21
2.5 Comentarios de la revisión de la literatura	22
2.6 Supuestos para la creación del modelo matemático	23

Capítulo 3. Modelación matemática

3.1 Introducción	27
3.2 Nomenclatura	28

3.2.1 Índices	28
3.2.2 Parámetros	28
3.2.3 Variables de decisión	29
3.2.4 Medidas de desempeño	29
3.3 Modelo matemático	29
3.3.1 Función objetivo	29
3.3.2 Restricciones	30

Capítulo 4. Solución del modelo matemático y análisis de resultados

4.1 Introducción	32
4.2 Tipo de caja óptima	32
4.3 Análisis de almacén China	33
4.4 Análisis de material transportado	33
4.5 Análisis de reducción de costos de transporte e inventario	34
Conclusiones y trabajo futuro	36
Referencias	38
Anexo 1. Mapa de flujo de valor futuro	40
Anexo 2. Código fuente en GAMS del modelo matemático	41
Anexo 3. Resultados de las variables de decisión obtenidas al correr el modelo en GAMS	43
Anexo 4. Comparativa de caja de cartón caso actual contra caso optimizado dentro del contenedor marítimo.	44
Anexo 5. Cambio en etiqueta maestra después de la implementación.	45

INTRODUCCIÓN

El comercio internacional en la actualidad es un tema cada vez más común, ya que la oferta y la demanda de los productos en los distintos países permiten brindar precios competitivos aplicando una correcta administración de la cadena de suministro. En el presente trabajo se hará énfasis en un componente del tipo automotriz cuya fabricación es realizada en Asia y comprado en América para el ensamblado de un producto que se comercializa a nivel mundial.

La parte fundamental de la comercialización del producto, es el medio y modo de transporte que se debe emplear para hacer llegar el material de Asia a América. Para este caso de estudio hablaremos de transporte marítimo para el movimiento de piezas automotrices, de Asia a América.

El material que se transporta es homogéneo, y empaquetado en cajas de cartón que se alojan en contenedores High Cube secos de 40 pies.



Figura 1.1 Contenedor High Cube seco de 40 pies.

Los contenedores High Cube secos, son recipientes de acero de forma rectangular, cuya función es almacenar recipientes más pequeños para facilitar el movimiento de la mercancía entre los distintos modos de transporte (marítimo, terrestre y férreo).

En la actualidad, se realizan 7 fletes semanalmente, que en total se transportan 11,200 piezas automotrices. Sin embargo, puede ser factible transportar más piezas con un menor número de fletes, con la finalidad de ahorrar costos de transporte y de inventario.

Pregunta de investigación:

¿Es posible generar un rediseño en el embalaje usado actualmente para transportar material automotriz en contenedores High Cube Secos que permita una reducción de costos en transporte e inventario para el proveedor?

Hipótesis

Existe un rediseño del embalaje para transportar material automotriz que permite que la cadena de suministro actual pudiera producir una red de costos menores de transporte e inventario en la empresa proveedora.

Objetivo general

Generar un rediseño en el embalaje donde se aloja material automotriz que permita una reducción de costos en el transporte e inventario para la empresa proveedora.

Objetivos específicos

- Determinar las características, necesidades y mejoras del almacén para realizar un rediseño en el embalaje de una caja de cartón que contiene cinco niveles y con un peso menor a 150 kg.
- Maximizar el número de piezas transportadas en un contenedor high cube seco de 40 pies.

- Calcular la factibilidad del rediseño del embalaje desde el punto de vista geométrico, tomando en cuenta el estado actual de la cadena de suministro de la empresa proveedora de material automotriz.
- Realizar un análisis de la ventaja del beneficio que se podría obtener al incrementar el número de piezas en el contenedor.
- Diseñar alternativas de los cambios pertinentes en el embalaje actual.
- Desarrollar el modelo matemático del rediseño del embalaje.
- Resolver el modelo matemático, haciendo uso de un software.
- Promover la implementación del rediseño del embalaje para ser utilizado en los embarques procedentes de Asia a América.
- Realizar envíos previos a la implementación del rediseño del embalaje, para probar la factibilidad de este rediseño.

A continuación se muestra la metodología a seguir durante el desarrollo de este trabajo de investigación aplicada, a través del cual se buscará maximizar el número de piezas transportadas en un contenedor High Cube seco, el cual será trasladado de Asia a América.

Para el primer capítulo denominado “**Cadena de suministro proveedor-cliente y problemática que se enfrenta**”, se describirá la forma detallada de la situación actual que viven las empresas, proveedora y cliente que manejan el material automotriz que se estará analizando durante el desarrollo del presente trabajo de investigación aplicada.

Además se dará a conocer la cadena de suministro que actualmente se utiliza para llevar al mercado el producto final, conoceremos la ruta utilizada para el movimiento de material y el medio de transporte utilizado en cada una de las etapas.

En el segundo capítulo denominado “**Herramienta de análisis y revisión de la literatura**”, se abordará la herramienta de mapas de flujo de valor que nos permite la visualización de la cadena de suministro en una forma integral, además a través de esta herramienta será posible conocer las áreas de oportunidad de nuestro proceso de envío de material de Asia a América.

Con la información recabada por el mapa de flujo de valor daremos a conocer las alternativas que permitirán analizar la optimización de costos en transporte e inventario.

Posteriormente se comenta la búsqueda, revisión y análisis de la literatura con lo cual podremos conocer la forma en que otros autores han abordado el tema.

Al final del capítulo se darán a conocer los supuestos del caso de estudio, los cuales serán la base para dar inicio con la formulación del modelo matemático.

En el tercer capítulo denominado “**Modelación matemática**”, se realizará la formulación del modelo matemático, diseñado para maximizar el número de piezas transportadas en un contenedor High Cube seco; considerando el uso actual de manipuladores para la carga y descarga de las cajas de cartón. Para tal efecto, se analizan los datos que alimentan al modelo y las restricciones a las que está sujeta la función a optimizar. Finalmente, se describirán las variables de decisión que se incluirán, la función a optimizar y las limitaciones a las que se sujetará.

En el cuarto capítulo llamado “**Solución del modelo matemático y análisis de resultados**”, se mencionará la herramienta de solución empleada, se desarrollará

el código del modelo matemático, y se incluirá la corrida que proporciona el software empleado así como el análisis de resultados.

Posteriormente se darán a conocer las conclusiones y trabajo futuro al que se llega después de realizar el análisis de resultados y la revisión bibliográfica en la que se apoyó para la realización de este trabajo de investigación aplicada.

Por último se incluyen en la sección de anexos, el código fuente del modelo matemático, el mapa de flujo de valor futuro, resultados de las variables de decisión obtenidas, comparativa de caja de cartón del caso actual contra caso optimizado y el cambio en etiqueta maestra después de la implementación.

CAPÍTULO I. CADENA DE SUMINISTRO PROVEEDOR-CLIENTE Y PROBLEMÁTICA QUE SE ENFRENTA

1.1. Introducción

El presente capítulo está enfocado en dar a conocer la forma en la que opera la actual administración de la cadena de suministro, describiendo la función que tiene cada uno de los eslabones dentro de la cadena.

De igual forma se da a conocer el contexto del proceso de envío de material automotriz que es comercializado entre el proveedor en Asia y su cliente en América.

Dentro del presente capítulo se describen algunas características del empaque en el que se alojan las piezas y la forma en la que se transporta el material automotriz hoy en día.

De forma simultánea se da a conocer el problema que es menester del presente trabajo de investigación aplicada, el cual será analizado a detalle en los siguientes capítulos.

1.2. Cadena de suministro proveedor-cliente

La cadena de suministro en la actualidad, es un tema de gran relevancia para cualquier organización que pretenda acercarse y entrar en contacto con un sistema que pueda controlar el flujo de material e información, que inicia con los proveedores y que termina en el punto de consumo y viceversa.

En la actualidad la administración de la cadena de suministro de las empresas, se busca mayor eficiencia al menor costo, sin descuidar estándares de calidad y servicio al cliente, ya que es en ésta administración donde se planea, controla y

ejecutan todas las operaciones de la cadena de suministro, para satisfacer la necesidad del cliente con el mayor rendimiento posible para la empresa y el mismo cliente.

Una parte importante dentro de cualquier cadena de suministro es la logística, Dentro de ella existen diversas actividades de vital importancia para que ésta se lleve a cabo de buena forma. Algunas de estas actividades son el transporte, la administración de inventarios y el procesamiento de órdenes.

La cadena de suministro incluye: proveedores, procesadores, centros de distribución, minoristas y usuarios. Asimismo, considera materias primas, inventario de productos en proceso, productos, servicios e información que fluyen entre las instalaciones. En la figura 1.1 se muestra la red de la cadena de suministro usada para este trabajo de investigación aplicada, que es utilizada para enviar el material de Asia a América.

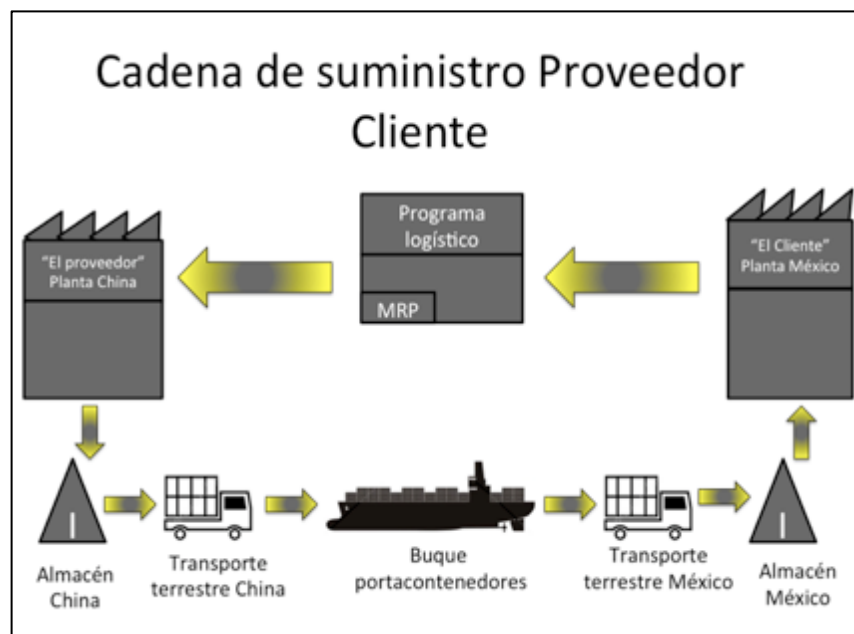


Figura 1.1 Red de la cadena de suministro actual de material fabricado en Asia y ensamblado en América. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 1.1 la cadena de suministro es pequeña; pues fácilmente en ella se identifican los elementos que la constituyen.

A continuación se aborda cada uno de sus elementos dando una breve explicación de su función dentro de la cadena.

- **“El Cliente” Planta en México:** Es en este eslabón donde da inicio el proceso, ya que el cliente realiza una orden de compra al proveedor.
- **Programa logístico:** En este eslabón del proceso se obtiene la orden de compra y se transfiere a la planta proveedora.
- **“El Proveedor” Planta China:** En esta etapa la planta proveedora conoce la cantidad de material a producir y considera un 10% extra de producción debido al material no conforme dentro de su producción.
- **Almacén en China:** En este eslabón, la planta proveedora consolida el material en cajas de cartón y estas cajas son ubicadas en su almacén en China, donde permanece alrededor de 6 días esperando a cubrir el requerimiento, que una vez cubierto el material es embarcado.
- **Transporte terrestre en China:** En este eslabón, una vez consolidado el material en las cajas de cartón y en almacén, es posible alojar las cajas de cartón en contenedores High Cube secos de 40 pies, los cuales son transportados vía terrestre al puerto de Qingdao donde se cambiará de modo de transporte a marítimo en un buque portacontenedores.
- **Buque Portacontenedores:** En este eslabón, los contenedores son colocados en el buque, con el fin de trasladar el material a través del océano pacífico con meta en el puerto Lázaro Cárdenas, México.
- **Transporte terrestre en México:** En este eslabón una vez en puerto mexicano, los contenedores son nuevamente cambiados a modo de

transporte terrestre, con el fin de trasladar el material del puerto al almacén en Toluca.

- **Almacén en México:** En este eslabón, al llegar los contenedores al almacén en México, es desembarcado el material y colocado en los andenes correspondientes en espera de ser solicitados por el cliente.
- **“El Cliente” Planta en México:** En este eslabón, es donde se culmina el proceso de envío de material al ser ensamblado y listo para punto de venta.

1.3. Problemática

El problema que se desea abordar, consiste en analizar la factibilidad de minimizar costos de transporte e inventario para la empresa proveedora, generando un rediseño en las cajas de cartón que alojan el material automotriz comercializado entre proveedor y cliente.

A continuación se describe el contexto y algunos detalles importantes que vive el proveedor y cliente en la forma actual de trabajo.

“El proveedor”, como se le llamará en este trabajo, es una empresa que fabrica diversos componentes del ramo automotriz y los comercializa con las principales empresas automotrices alrededor del mundo. Esta empresa está ubicada en China.

“El cliente”, como se llamará en este trabajo, es una empresa ensambladora automotriz la cual consolida distintas autopartes para realizar un ensamble final. Esta empresa está ubicada en Toluca, México.

“El proveedor” tiene un acuerdo comercial con “el cliente”, que consiste en vender una de sus familias de productos por un periodo de tiempo establecido (2006-2020).

“El proveedor” utiliza cajas de cartón para almacenar las piezas automotrices, y a su vez las cajas de cartón son consolidadas en almacén en China hasta que se completa la orden. Posteriormente son alojadas en contenedores marítimos para ser transportadas, una vez llenos los contenedores, son despachados vía terrestre al puerto de Qingdao en China, en este eslabón cambia su modo de transporte a marítimo ya que los contenedores son colocados en un buque portacontenedores para realizar el movimiento de estos a través del océano pacífico, para ser recibidos en el puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México. Luego aquí, es en donde cambia nuevamente su modo de transporte al terrestre para ser colocado en Toluca, Estado de México.

Los contenedores marítimos pueden utilizarse para transportar objetos voluminosos o pesados como: motores, maquinaria, pequeños vehículos o mercancía paletizada. Para el caso de estudio, se utilizan para transportar material automotriz en cajas de cartón.

El contenedor que se utiliza para transportar el material de Asia a América es llamado “High Cube Seco de 40 pies”, el cual se muestra con sus especificaciones en la figura 1.2.

- Longitud del interior: 12,024 mm
- Ancho del interior: 2,350 mm
- Alto del interior: 2,697 mm
- Ancho: 2,340 mm
- Alto: 2,597 mm
- Capacidad cubica: 76 m³
- Peso neto: 4,020 Kg.
- Carga máxima: 26,460 Kg.



Figura 1.2 Especificaciones del contenedor “High Cube” Seco de 40 pies. Fuente: SeaRates.com LP. 2005-2017.

El cliente es abastecido semanalmente de material con características idénticas en forma, dimensiones, demanda de piezas y peso por su proveedor.

La distancia que existe entre la empresa proveedora de material y su cliente es considerable, los embarques tienen un tiempo de traslado de aproximadamente 23 días desde que salen de la empresa proveedora a la empresa ensambladora.

La empresa proveedora utiliza cajas de cartón para almacenar las piezas. Actualmente cada caja está dividida en 5 niveles y en cada nivel se alojan 8 piezas dando un total de 40 piezas por cada caja. En la figura 1.3 se puede apreciar la caja de cartón actual y su distribución.

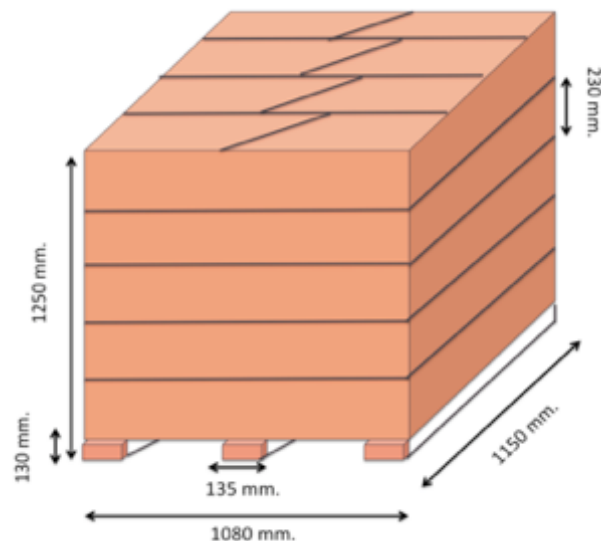


Figura 1.3. Caja de cartón utilizada hoy en día para transportar material de China a México.

El contenedor marítimo es capaz de alojar 40 cajas de cartón dando un total de 1600 piezas por contenedor, en la figura 1.4 se muestra la distribución de las cajas dentro del contenedor.

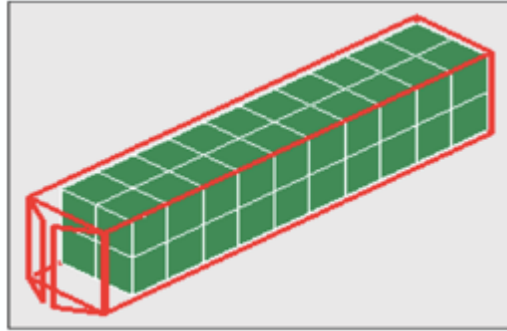


Figura 1.4. Distribución de cajas de cartón actuales dentro del contenedor marítimo

La actual organización de envío de material está en curso desde el año 2006 y tiene un horizonte de planeación de producción hasta el año 2020.

El cliente es suministrado semanalmente de material proveniente de China, de acuerdo a los datos históricos de un año se observa una demanda promedio de 10,000 piezas por semana.

El proveedor planea su producción con un 10% de excedente debido a las piezas no conformes en su producción, así como desperdicios, entre otros.

El stock de seguridad contempla una semana de producción, la cual se ha mantenido desde el primer envío realizado, ya que al inicio de la operación, el cliente solicitó una orden de compra para dos semanas y a partir de la segunda semana se mantiene la solicitud de material semanal.

CAPÍTULO 2. HERRAMIENTA DE ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Introducción

En el presente capítulo nos enfocaremos en el uso de la herramienta de mapas de flujo de valor que nos permite la visualización de la cadena de suministro en una forma integral, además a través del uso de esta herramienta, será posible visualizar las áreas de oportunidad de nuestro proceso de envío de material de Asia a América.

Con la información recabada por el mapa de flujo de valor, daremos a conocer alternativas que permitirán analizar la optimización de costos en transporte e inventario.

En la siguiente parte de este capítulo, se abordara la búsqueda, revisión y análisis de la literatura con lo cual podremos conocer la forma en que otros autores han abordado el tema.

En la parte final del capítulo se darán a conocer los supuestos que se consideran para la formulación del modelo matemático.

2.2. Mapa de Flujo de Valor (VSM)

Existen diferentes maneras de conocer a fondo los procesos de las organizaciones y de la cadena de abastecimiento. Uno de ellos es a través de Mapas de Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés), cuya principal aportación, es permitir identificar ampliamente las actividades que no agregan valor al proceso, del mismo modo permite conocer el tiempo asociado a dichas actividades.

Cabe señalar que tanto cliente como proveedor, manejan este tipo de herramientas para conocer y mejorar los procesos de producción y de cadena de abastecimiento.

En la práctica el VSM es cada vez más empleado como parte de los planes de mejora, con lo cual es necesario un planteamiento de un esquema actual y de una proposición de estrategias de mejoramiento que dará como resultado el VSM futuro.

Al hablar de VSM es importante mencionar algunos indicadores relevantes para plantear un mapeo correcto los cuales son:

- **Tiempo Takt:** Es un indicador de tiempo, el cual refleja el tiempo total desde que un producto inicia con su fabricación hasta el momento en que es consumido. Este se calcula de la siguiente forma.

$$T_{takt} = \frac{TDT}{DCP}$$

Donde:

TDT = Tiempo disponible de trabajo (segundos/día)

DCP = Demanda promedio del cliente por periodo. (unidades/día)

Ttakt = Tiempo Takt (Segundos/unidad)

- **TDT:** Es el tiempo efectivo de trabajo que se tiene en la línea de producción, en el cual no se contempla el tiempo de comida y los tiempos de quiebre por avisos según cada empresa.

- **DCP:** Es la demanda que el cliente establece como promedio para garantizar cumplir con la producción.
- **Tiempo de ciclo individual:** Es el tiempo que le toma a cada proceso u operación ejecutarse de forma correcta.
- **Tiempo de ciclo total:** Es el tiempo que dura en ejecutar todos los procesos u operaciones, que es calculado mediante la suma de los ciclos individuales.

Con los indicadores anteriores, se nos proporciona información para conocer los procesos e identificar en donde se deben hacer mejoras para lograr satisfacer la demanda del cliente, y de esta forma hacer el mapa de flujo de valor futuro.

Algunos de los beneficios que se obtienen son:

- Identifican los cuellos de botella con anticipación.
- Mayor conocimiento de ritmos de producción permitiendo dar alertas a la empresa.
- Nos da un una métrica que nos ayuda a eliminar actividades que no agregan valor.

Para el caso de estudio, se hace el análisis utilizando la herramienta de mapa de flujo de valor (VSM), que con esta herramienta nos permite visualizar de forma gráfica cada una de las etapas de nuestro proceso, permitiendo identificar las etapas que causan mayor conflicto.

Para construir el mapeo, es importante recabar información que nos permita realizar un diagnóstico apegado a la realidad.

Para nuestro análisis se toma en cuenta la siguiente información:

1.- El cliente tiene una demanda promedio semanal de 10,000 piezas basada en la información histórica de un año, además el tiempo disponible de trabajo del cliente es de 81000 segundos por día (22.5 horas por día).

2.- Se envían siete contenedores con cuarenta cajas cada uno, lo cual da un total de 280 cajas 11200 piezas por semana.

3.- El espacio que ocupan las 280 cajas es de 116 m².

4.- El proveedor produce 10% más de lo necesario, debido a las piezas no conformes que se obtienen en su proceso (piezas dañadas, entre otros).

5.- El material es almacenado en China (alrededor de 6 días) para poder enviar el embarque completo al cliente.

6.- El material es enviado del almacén a puerto en China vía terrestre, cuya duración del transporte es de 4 horas aproximadamente.

7.- El tiempo que tarda el material en tránsito marítimo es de 23 días aproximadamente.

8.- El movimiento de material del puerto en México al almacén en Toluca es de 8 horas aproximadamente.

Es importante mencionar que, este análisis es ampliamente utilizado en las empresas para detectar áreas de oportunidad en los procesos de manufactura, logísticos o de cadena de suministro. En la figura 2.1 se muestra el VSM que fue detectado en el proceso de envío de material de Asia a América.

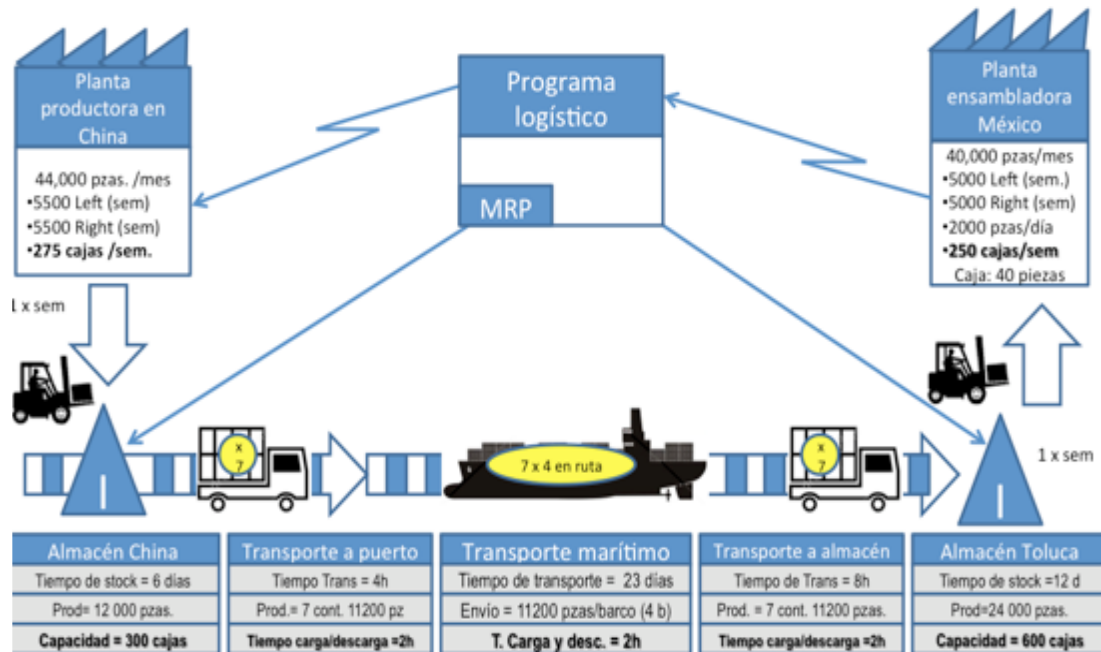


Figura 2.1 Mapa de Flujo de Valor del proceso de envío de material de Asia a América. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Áreas de oportunidad detectadas

Con el análisis realizado en la sección anterior, es posible identificar las áreas de oportunidad que se tienen en el proceso, las cuales son:

1. Reducir espacio en almacenes y/o minimizar el tiempo de almacenamiento.
2. Mejorar el transporte (Marítimo y terrestre), maximizando el número de piezas enviadas en cada contenedor.

El área de oportunidad relacionada con almacén, la identificamos en el eslabón del almacén China, donde actualmente se tiene una capacidad de almacenamiento de 12000 piezas, lo que equivale a 300 cajas de cartón.

El área de oportunidad relacionada con el transporte contempla los eslabones de transporte terrestre en China, Buque portacontenedores y transporte terrestre en

México, en estos tres eslabones se concentra el mayor costo del proceso, ya que el costo por transporte marítimo es por mucho el más caro del proceso. Por esta razón se tiene como prioridad abordar el costo de transporte.

Para abordar las áreas de oportunidad detectadas, se ve factible considerar diversos tipos de caja para lograr la mejora, para ello se consideran seis tipos de cajas posibles, las cuales fueron proporcionadas por el proveedor de cajas ubicado en China, con las restricciones establecidas por el cliente y el proveedor, para la manipulación y almacenaje de las mismas. Los seis tipos de cajas son factibles para alojarse dentro del contenedor al cual se ha hecho referencia con anterioridad, además de que no presentan problemas para estibarse con las herramientas de manipulación disponibles en cualquier aduana o almacén.

En la figura 2.2 se presentan los seis tipos de cajas proporcionadas por el proveedor de cajas de cartón en Asia.

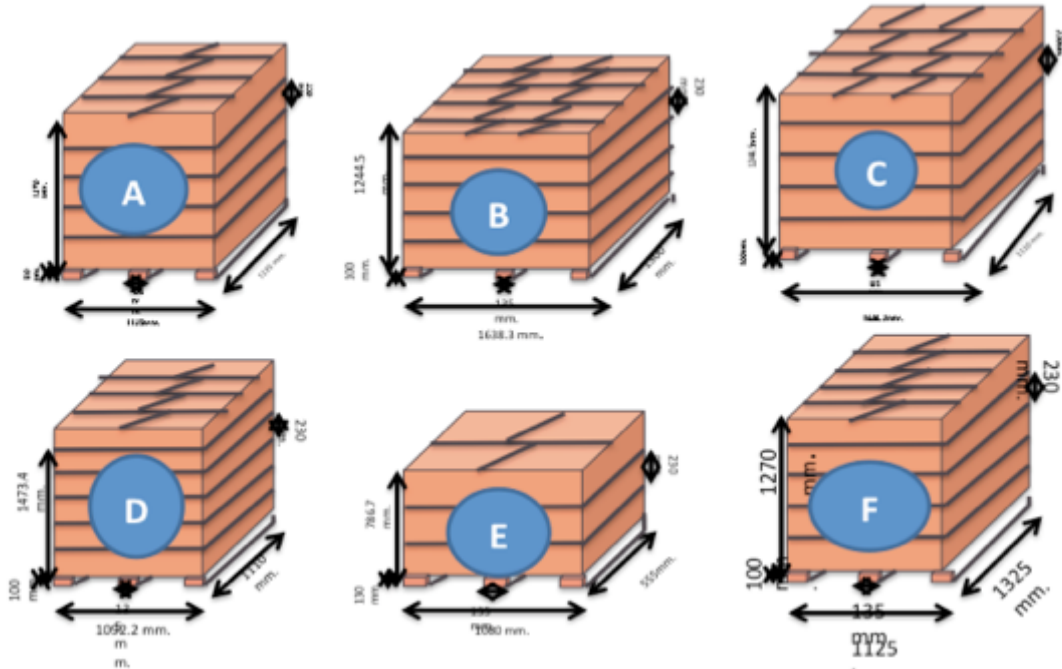


Figura 2.2. Tipos de cajas factibles para llevar a cabo el alojamiento de material automotriz proporcionadas por el proveedor. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2.1 se muestra la cantidad de piezas que es capaz de alojar cada una de las cajas de cartón propuestas.

Tabla 2.1. Cantidad de piezas por caja de cartón.

Tipo de caja de cartón	Número de piezas por caja
A	40
B	75
C	60
D	48
E	12
F	50

Una vez que se conocen los eslabones de interés para nuestro problema, y considerando las alternativas de cajas de cartón, se procede a realizar una búsqueda bibliográfica con la intención de tener un panorama de la información que existe en la literatura, razón por la cual en la siguiente sección se presenta una parte del análisis de la información encontrada.

2.4 Revisión de la literatura

En esta sección se dan a conocer algunas de las investigaciones consultadas partiendo de lo general a lo particular, con el objetivo de identificar el enfoque que se le da a este tipo de problemas y las similitudes y diferencias que se presentan con otros autores.

En relación con la literatura consultada, se encuentran problemas como:

- a) Problema de empaquetado de artículos idénticos.
- b) Problema de la mochila.
- c) Problema de embalaje de cajas.

A continuación se mencionan las herramientas que han utilizado algunos los autores para los problemas antes mencionados.

2.4.1 Problema de Empaquetado con artículos Idénticos (IIPP)

Este tipo básico de problema posee las características de tener un único objeto grande y un conjunto de artículos idénticos que deben disponerse de forma que se maximice el número de artículos que “cabén” en el objeto (Calandin, C. P.G., 2010). Tres particularizaciones relativas a este tipo de trabajos se han abordado en la literatura. Uno es el clásico Problema del Empaquetamiento (*Manufacturer's Pallet Loading Problem* o MPLP), en el que se debe cargar un pallet con el máximo número de cajas iguales. Si se asume que las cajas se apilan en capas iguales, se trata de un problema *2dimensional rectangular IIPP* (Calandin, C. P.G., 2010).

Las metodologías de resolución propuestas en la literatura para la resolución de problemas del tipo IIPP han sido diversas. Primero se aplicaron técnicas heurísticas, el algoritmo de (Steudel H., 1979), que de forma recursiva busca maximizar el uso del perímetro del objeto; o los algoritmos llamados de cuatro y cinco bloques desarrollados respectivamente por (Bischoff E., Dowsland W., 1982).

En cuanto a métodos exactos, (De Cani P., 1979) aplica por primera vez un algoritmo de Ramificación y Acotación. Asimismo (Dowsland K., 1985 y 1987) y (Lins L., et al., 2002), desarrollan algoritmos exactos basados en la correspondencia entre la teoría de grafos y el PLP.

Las primeras metaheurísticas que se aplicaron sobre este tipo de problemas se basaban en el recocido simulado y en la búsqueda tabú (Dowsland K., Dowsland W. 1992) y (Dowsland K., 1996).

En todos los casos antes mencionados, se encuentra que las cajas permiten rotación y el peso de las cajas es heterogéneo.

2.4.2 Problema de la Mochila (KP)

Para este problema el surtido de ítems es fuertemente heterogéneo. Así pues que el problema de la Mochila (KP) supone introducir objetos con un peso y valor dentro de una mochila de forma que no se sobrepase su capacidad y se maximice el valor del contenido de ésta (Wäscher G., et al. 2007).

Distintos algoritmos de ramificación y acotación se han propuesto desde hace más de tres décadas para resolver el problema de la mochila, de hecho, numerosas son las cotas superiores que se han presentado en la literatura y se basan en variedad de técnicas que incluyen: linealización, relajación lagrangiana, obtención de planos superiores y técnicas de reformulación (Wäscher G., et al. 2007).

Dentro de nuestro caso de estudio, los artículos a los que hacemos referencia tienen el mismo peso y el mismo valor por lo que descartamos que nuestro problema pueda ser atendido con el problema de la mochila, ya que en este caso toma objetos heterogéneos con peso y valor distinto esperando no sobrepasar la capacidad de peso y maximizando el valor de su contenido.

2.4.3 Problema de la caja de embalaje (BPP)

Este problema tiene que ver con la determinación del número mínimo de cajas (“objetos”) que se necesitan para empaquetar un conjunto de “artículos”. Se han descrito varias versiones diferentes del problema y los “objetos” pueden modelizarse bajo una o más dimensiones.

Para este tipo de problemas el surtido de artículos es fuertemente heterogéneo y deben ser asignados de forma que se minimice el número de objetos que se han de utilizar (Calandin, C. P.G., 2010).

Los problemas BPP han sido ampliamente estudiados en los últimos años y al igual que en el resto de los problemas básicos de Corte y Empaquetado, se han

referenciado para su resolución tanto para métodos exactos como para métodos heurísticos y metaheurísticos (Calandin, C. P.G., 2010).

En cuanto a los métodos exactos, (Martello, S., et al. 2000) utilizan esquemas de ramificación que se basan en adaptaciones de algoritmos de ramificación y corte para resolver el problema en 2 y 3 dimensiones.

Para el uso de heurísticos, algunos autores plantean enfoques híbridos utilizando de manera conjunta reglas heurísticas como el *First-Fit* o el *Next-Fit Decreasing* o el *Best-Fit Decreasing* (Frenk y Galambos, 1987). (Lodi et al. 1999) proponen también un algoritmo que llaman Suelo-Techo (FC), basado en diferentes pautas heurísticas para la orientación del empaquetado (izquierda a derecha con la base en el suelo o de derecha a izquierda con la parte superior tocando el techo) y agrupándolo en diferentes niveles.

En cuanto al uso de Metaheurísticas, (Lodi, A., et al. 1999) desarrollan algoritmos en los que partiendo de una heurística constructiva aplican la búsqueda tabú para escapar de óptimos locales.

El problema de la caja de embalaje considera el surtido de artículos fuertemente heterogéneo y deben ser asignados de forma que se minimice el número de objetos que se han de utilizar, en nuestro caso de estudio el surtido de artículos es homogéneo en su totalidad y maximiza el número de piezas dentro de un contenedor, por lo tanto no hay similitud con nuestro problema.

2.5. Comentarios de la revisión de la literatura

Con base en la revisión de la literatura, se puede decir que para nuestro caso de estudio según (Wäscher G., et al. 2007) corresponde a problemas de empaquetado con artículos idénticos, ya que este tipo básico de problema posee las características de tener un único objeto grande y un conjunto de artículos idénticos, que deben disponerse de forma que se maximice el número de artículos que “caben” en el objeto.

Dentro de los artículos revisados en la literatura, no se encontraron grandes afinidades, debido a que nuestro caso de estudio carece de las siguientes condiciones:

- No permite mezcla de cajas.
- No permite rotación de cajas.
- No hay restricciones de peso, ya que solo se ocupa el 20% del peso soportado por el contenedor.
- No se toma en cuenta el centro de gravedad para la carga, ya que el peso es homogéneo.
- El valor de los artículos es el mismo por lo tanto no se presentan prioridades.

Debido a la falta de afinidad con los artículos de la literatura consultados, se optó por generar un modelo matemático de creación propia con los supuestos que se mencionan a continuación.

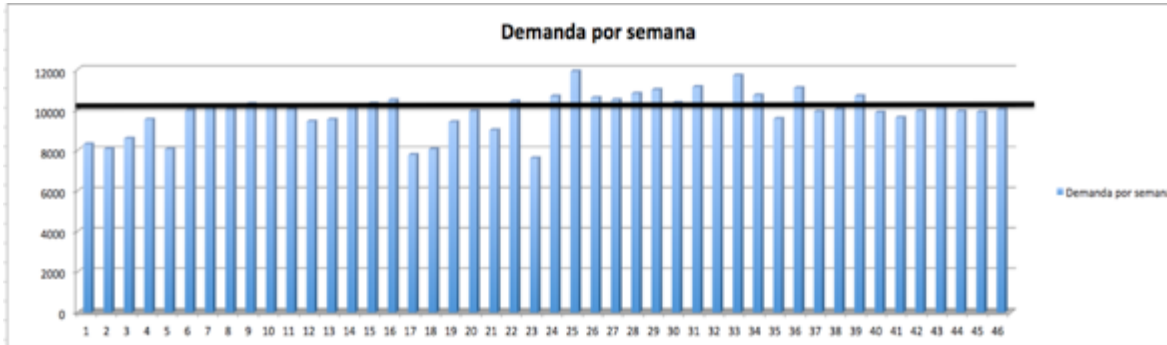
2.6 Supuestos para la creación del modelo matemático

El modelo considera un conjunto de posibilidades i (A,B,C,D,E,F) para transportar el material automotriz de Asia a América.

Se consideran seis tipos de caja de cartón, las cuales fueron diseñadas por el proveedor en Asia, tomando en cuenta las especificaciones de la empresa Asiática y Mexicana, además de cumplir con las especificaciones para lograr su manipulación en cualquier contenedor marítimo, aduana o almacén con las herramientas de manipulación de material universales.

El modelo considera una demanda determinista la cual esta basada en los datos históricos semanales de un año.

En la gráfica 2.1 se presenta el comportamiento histórico de la demanda, correspondiente a las 46 semanas hábiles del año 2016.



Gráfica 2.1. Comportamiento de 46 semanas de la demanda. Fuente: Elaboración propia.

El número de piezas NP_i , dentro de cada caja de cartón es calculado por el número de piezas que es posible alojar en cada una de sus dimensiones (largo, ancho y alto).

El problema considera un producto único con idénticas dimensiones, peso y características físicas.

El número de cajas de cartón $NCaj_i$, que puede alojar el contenedor marítimo lo podemos conocer al multiplicar el número de cajas que caben dentro del contenedor marítimo en cada una de sus dimensiones (largo, ancho y alto).

Considerando lo anterior como base, es posible conocer el número de piezas que transporta el contenedor marítimo $PCont_i$ al multiplicar $NP_i \cdot NCaj_i$.

El modelo involucra al almacén, por lo cual se conoce el número de cajas que necesita mantener para satisfacer la demanda, al conocer este dato y el costo por metro cuadrado en almacén es posible conocer el costo unitario por almacenar una caja H_i durante una semana.

Lo anterior se puede resumir en los supuestos siguientes:

1. Se consideran 6 tipos de cajas de cartón para transportar material de Asia a América, que cumplen con las especificaciones para la manipulación tanto en contenedor marítimo, como aduana y almacén de la empresa.
2. La demanda es determinista, basada con datos históricos recolectado durante un año y esta así proyectada por el gerente de la empresa.
3. El número de piezas (NP_i), dentro de cada caja de cartón, es calculado por el número de piezas que es posible alojar en cada una de sus dimensiones (largo, ancho y alto).
4. El número de cajas de cartón ($NCaj_i$), que puede alojarse dentro del contenedor marítimo, son conocidas, con tan sólo multiplicar el número de cajas que caben dentro del contenedor marítimo en cada una de sus dimensiones (largo, ancho y alto).
5. El número de piezas que puede transportar un contenedor marítimo ($PCont_i$), se calcula como: $(NP_i \cdot NCaj_i)$.
6. El costo de almacenar una caja de cartón es conocido.
7. Los contenedores marítimos se consideran siempre a su máxima capacidad de carga.
8. Para el caso de estudio solo se considera un tipo de producto (pieza), porque en la práctica así se lleva a cabo.
9. Se considera un número determinado de estibas permitidas de acuerdo al tipo de caja.
10. El costo de almacén es un parámetro, debido a que intervienen el costo por metro cuadrado en almacén, el area de cada tipo de caja y la cantidad de cajas que pueden ser estibadas.
11. El número de cajas en almacen es un parámetro conocido para cada tipo de caja.

12. El material es consolidado en el almacén en China hasta que se satisfaga la demanda semanal, que para el caso actual se cubre con siete contenedores.

En el siguiente capítulo se da a conocer la forma en la que se plantea el modelo matemático tomando en cuenta los supuestos antes mencionados.

CAPÍTULO 3. MODELACIÓN MATEMÁTICA

3.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es formular el modelo matemático del problema que considere la reducción de costos para el transporte e inventario del material a enviar de Asia a América. Para tal efecto, se requiere identificar el tipo de caja de cartón que permita transportar el mayor número de piezas dentro de un contenedor High Cube seco de 40 pies. Posteriormente se realiza el análisis para reducir los costos de almacenamiento, conociendo los costos que implica el almacenar el material y los espacios con los que se cuenta.

Con la información anterior se ve factible la construcción de un modelo matemático para representar el problema en cuestión, ya que se cuentan con todas las relaciones entre los parámetros y variables requeridos en el proceso, que tiene como objetivo final la minimización del costo de transporte y almacenamiento del material transportado de Asia a América.

Los problemas de optimización tienen como objetivo principal encontrar la mejor solución a un problema, por lo tanto se desea encontrar un valor óptimo para las variables de decisión de un número finito de posibilidades que ayude a obtener el mejor valor para las medidas de desempeño usadas, además de tomar en cuenta la satisfacción de restricciones.

Para el presente modelo de optimización, se hizo una revisión de la literatura en la cual no se encontraron semejanzas concretas con otros autores, debido a ello la creación del modelo partió de cero y en su totalidad fue creación propia.

El modelo matemático resultante presentado al final de este capítulo, es resuelto con la ayuda del software General Algebraic Modeling System (GAMS).

GAMS es un software de alto nivel para el modelado de sistemas para la optimización matemática. Asimismo, GAMS está diseñado para modelar y resolver problemas a gran escala y complejos, considerando modelos lineales, no lineales y de optimización entera mixta.

3.2 Nomenclatura

En esta sección se darán a conocer el significado de las palabras reservadas que se utilizan en el modelo matemático y sus unidades de medida, la nomenclatura está clasificada de acuerdo a la naturaleza de la información.

3.2.1 Índices

i : Tipo de caja (A, B, C, D, E, F)

3.2.2 Parámetros

Demanda: Demanda semanal (piezas/semana)

PzasAlto_i: Número de piezas a lo alto de la caja tipo i (piezas)

PzasAncho_i: Número de piezas a lo ancho de la caja tipo i (piezas)

PzasLargo_i: Número de piezas a lo largo de la caja tipo i (piezas)

NP_i: Número de piezas en el tipo de caja i (piezas/caja)

PCont_i: Número de piezas por contenedor de acuerdo al tipo de caja i
(piezas/contenedor)

CLC_i: Número de cajas tipo i a lo largo del contenedor (cajas)

NCA_i: Número de cajas tipo i a lo ancho del contenedor (cajas)

CAC_i: Número de cajas tipo i a lo alto del contenedor (cajas)

NCaj_i: Número de cajas tipo i en contenedor (cajas)

NCajAlm_i: Número de cajas del tipo i en almacén (cajas)

H_i: Costo unitario de almacén por caja (dólares por caja por semana)

CostT: Costo por contenedor transportado de Asia a América

(dólares/contenedor)

3.2.3 Variables de decisión

Y_i : 1 si la caja tipo i es seleccionada, 0 en caso contrario
 $gapCont_i$: Número de piezas excedentes de material por envío (piezas)
 $NCont_i$: Número de contenedores semanales necesarios para cubrir demanda

3.2.4 Medidas de desempeño

CT : Costo Total función objetivo a minimiza en dólares por semana)
 $CostoTrans$: Costo semanal de transporte (Dólares por semana)
 $CostoAlmacen$: Costo semanal de almacén (Dólares por semana)

3.3 Modelo Matemático

A continuación se muestra el modelo matemático empleado para minimizar el costo total semanal de transporte e inventario derivado de la comercialización de material automotriz entre el proveedor Asiático y el cliente en América.

El presente modelo de optimización resuelve un problema lineal, basado en la minimización de costos y la satisfacción de la demanda por semana.

3.3.1 Función objetivo

La función objetivo del modelo está enfocada a la minimización del costo total ($Min CT$), la cual se obtiene con la suma de costo de transporte, ($CostoTrans$) y el costo de almacenamiento, ($CostoAlmacen$) para el material automotriz en cuestión; que matemáticamente se expresa como:

$$\text{Min } CT = \text{CostoTrans} + \text{CostoAlmacen} \quad \dots \text{Función Objetivo}$$

dólares = dólares + dólares

Que finalmente queda:

$$CT = \sum_i \text{CostT} \cdot N\text{Cont}_i + \sum_i H_i \cdot N\text{cajAlm}_i \cdot y_i \quad \forall i = 1, \dots, 6$$

3.3.2 Restricciones

Recordando que no es posible el faltante de material, pero si un excedente con la siguiente restricción decimos que la demanda (*Demanda*) más el excedente de piezas (*gapCont_i*), equivalen al número de contenedores *NCont_i* por las piezas que aloja el contenedor (*PCont_i*).

$$\text{Demanda} + \sum_i \text{gapCont}_i = \sum_i N\text{Cont}_i \cdot P\text{Cont}_i \quad \forall i = 1, \dots, 6 \quad \dots R1$$

piezas + piezas = (contenedores) (piezas/contenedor)

Debido a que el excedente de piezas debe de ser no negativo y a su vez no debe de ser mayor a un día de producción, se propone la siguiente restricción.

$$0 \leq \text{gapCont}_i \leq 2000 \cdot y_i \quad \forall i = 1, \dots, 6 \quad \dots R2$$

piezas ≤ piezas ≤ piezas

Debido a que se debe garantizar el abasto de la demanda, utilizamos la regla de la “Big M” para garantizar el número necesario de contenedores por semana, el cual es multiplicado por la variable binaria

$$N\text{Cont}_i \leq \text{BigM} \cdot y_i \quad \forall i = 1, \dots, 6 \quad \dots R3$$

contenedores = contenedores

Para el caso estudiado, no es permitido la mezcla de cajas por lo tanto con la siguiente restricción garantizamos que los contenedores transportan un solo tipo de caja.

$$\sum_i y_i = 1 \quad \forall i = 1, \dots, 6 \quad \dots R4$$

Finalmente, el modelo matemático que representa al problema referido con anterioridad es:

$$\text{Min } CT = \sum_i NCont_i \cdot CostT + \sum_i H_i \cdot NcajAlm_i \cdot y_i$$

s.a.

$$Demanda + \sum_i gapCont_i - \sum_i NCont_i \cdot PCont_i \leq 0$$

$$0 \leq gapCont_i \leq 2000 \cdot y_i$$

$$NCont_i \leq BigM \cdot y_i$$

$$\sum_i y_i = 1$$

$$y_i \in \{0,1\}$$

$$gapCont_i, NCont_i \geq 0, \in Z^+$$

$$\forall i = 1, \dots, 6$$

CAPÍTULO 4. SOLUCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos después de realizar la corrida del modelo matemático utilizando el solver MIP CPLEX del software GAMS.

La reducción de costos para transporte e inventario de material automotriz enviado de Asia a América, se basa en la selección de un tipo de caja (de las cinco posibles) la cual permita maximizar el número de piezas transportadas en el contenedor marítimo, además de tomar en cuenta los espacios disponibles con los que cuenta el almacén de China. Cabe señalar que la caja A, es la que actualmente está en uso.

4.2. Tipo de caja óptima

Dentro del análisis realizado a los resultados del proceso de optimización, es importante destacar que dentro de los distintos escenarios planteados se encuentra una mejor opción de caja a la que se maneja actualmente. En la tabla 4.1 se muestra la comparativa entre algunos elementos analizados de la caja que actualmente se utiliza y la caja que fue seleccionada después de correr el modelo matemático.

Tabla 4.1. Comparativa de caja actual vs caja optimizada.

Variable	Caso actual	Caso optimizado
Tipo de caja seleccionada	A	F
Piezas por caja	40	50
Cajas por contenedor	40	36

En la tabla anterior se observa que para el caso actual (caja A) se alojan 40 piezas por cada caja de cartón y es posible alojar 40 cajas por contenedor.

Para el caso optimizado (caja F) se alojan 50 piezas por caja de cartón y 36 cajas dentro del contenedor.

4.3. Análisis de almacén China

Para el modelo planteado se involucra el almacén de China, con el objetivo de analizar los beneficios u obstáculos que representa la selección de un nuevo tipo de caja. En la tabla 4.2 se muestran la comparativa de los resultados obtenidos para el almacén de china con respecto al caso actual y el caso optimizado.

Tabla 4.2. Comparativa de espacios de almacenes caso actual vs caso optimizado.

Variable	Caso actual	Caso optimizado
Cajas en almacén China (cajas por semana)	280	216
Espacio utilizado en almacén (m ²)	116	103

En la tabla 4.2 es posible apreciar que se obtiene una reducción en el espacio de almacén de 12% lo cual implica una reducción tanto de movimiento de material como de espacio utilizado.

4.4. Análisis de material transportado

Después del conocer los costos generados en el proceso de envío y almacén, se observa que el costo que tiene mayor impacto en el proceso es, en la etapa de transportar el material vía marítima, por lo que al reducir el número de contenedores enviados semanalmente se obtiene una disminución de costos importante. En la tabla 4.3 se muestra la comparativa del caso actual y caso

optimizado en cuanto al excedente de piezas enviadas, piezas transportadas por contenedor y el número de contenedores enviados semanalmente para satisfacer la demanda.

Tabla 4.3. Comparativa de excedente de material enviado, piezas transportadas por contenedor número de contenedores enviados semanalmente

Variable	Caso actual	Caso optimizado
Tipo de caja seleccionada	A	F
Piezas excedentes por semana	1200	800
Piezas transportadas por contenedor	1600	1800
Número de contenedores enviados por semana para satisfacer demanda	7	6

En la tabla 4.3 se muestra que con el caso optimizado es posible alojar 200 piezas más por contenedor que en el caso actual, por lo que se logra la reducción de envío de un contenedor por semana.

4.5. Análisis de reducción de costos

El modelo matemático tiene como finalidad el minimizar el costo total de transporte y de almacén de las piezas enviadas de Asia a América, por lo cual podemos conocer el beneficio de esta optimización al sumar el costo total de transporte y el costo total de almacenamiento, mostrándose en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Comparativa de costos de transporte y almacenamiento.

Variable	Caso actual	Caso optimizado
Tipo de caja seleccionada	A	F
Costo de Transporte (Dólares por semana)	\$ 39,900	\$ 34,200
Costo de Almacén (Dólares por semana)	\$ 690	\$ 648
Costo Total (Dólares por semana)	\$ 40,590	\$ 34,848
(Dólares por mes)	\$ 162,360	\$ 139,392
(Dólares por año)	\$ 1,948,320	\$ 1,672,704
Costo unitario por pieza (CUP) (Dólares por pieza)	\$ 3.6	\$ 3.2

Con los costos mostrados en la tabla anterior, es factible la sustitución de caja de cartón tipo A por la caja tipo F, debido a que se da una reducción de costos significativos.

Conclusiones y trabajo futuro

En el presente trabajo se realiza un análisis del proceso envío de material de un solo tipo de producto de Asia a América con la intención de minimizar costos de transporte e inventario para el proveedor de material automotriz, teniendo siempre en mente que el producto llegue en forma óptima al cliente.

Parte primordial para identificar el rediseño de embalaje de material proveniente de Asia, está basado en la integración de la herramienta de Mapa de Flujo de Valor, la cual proporciona aportaciones de gran relevancia para la obtención de resultados.

Las **conclusiones** a las que se llegaron en este trabajo de investigación aplicada, son:

- ✓ La herramienta de mapa de flujo de valor, nos permitió visualizar claramente los eslabones de nuestra cadena de suministro y comprobar las áreas de oportunidad detectadas.
- ✓ Con los datos obtenidos, se formuló un modelo matemático el cual considera una demanda determinista y es guiado por la satisfacción de la demanda, permitiendo excedente de material, y bajo ningún caso faltante.
- ✓ De los 6 tipos de caja presentados contando el que actualmente se utiliza, se logró hallar una mejor opción para el envío de material automotriz de Asia a América. La forma óptima de envío de material es con la caja de cartón tipo F.
- ✓ Después de conocer la caja de cartón que maximiza las piezas dentro del contenedor marítimo se logra enviar un 12.5% más de material en cada

contenedor, con lo cual el excedente de piezas disminuye y se respeta la cadencia de la cadena de suministro.

- ✓ El costo unitario de envío refleja un decremento de 40 centavos de dólar por pieza.
- ✓ Se ha conseguido la implementación del cambio de empaque, debido a que actualmente los contenedores transportan cajas de cartón que alojan 50 piezas.

Por lo anterior se recomienda ampliamente continuar con este tipo de investigaciones aplicadas, en las que se busque mejorar los procesos ya existentes, a partir de alternativas factibles, ya que con la información pertinente y tomando en consideración las limitaciones que se tienen, es posible construir modelos matemáticos de forma práctica obteniendo ahorros de alto impacto para las instituciones.

El trabajo futuro, que se deja para futuras generaciones que deseen retomar lo plasmado a continuación:

Después de tener mayor conocimiento del tema queda la incertidumbre de conocer los efectos que resultarían de agregar algunas de las consideraciones que otros autores han tomado en cuenta y que por efectos de los requerimientos del cliente y proveedor no se consideraron en este caso de estudio como son: la mezcla de los distintos tipos de cajas y la rotación de las mismas, entre otras; pues se involucraría el centro de gravedad del contenedor marítimo High cube seco de 40 pies.

Referencias

Bischoff, E. and Dowsland, W. (1982). An application of the micro to product design and distribution. *Journal of the Operational Research Society*, 271-280.

Calandin, C. P.G., (2010). Métodos y Algoritmos para resolver problemas de Corte unidimensional en entornos realistas. Aplicación a una empresa del sector siderúrgico. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.

Chen, C., Lee, S.-M., and Shen, Q. (1995). An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research*, 80(1), 68-76.

De Cani, P. (1979). Packing problems in theory and practice. PhD. Thesis. Department of Engineering Production. University of Birmingham.

Dowsland, K.A. (1985). Determining an upper bound for a class of rectangular packing problems. *Computers & Operations Research*, 12(2), 201-205.

Dowsland, K.A. (1987). An exact algorithm for the pallet loading problem. *European Journal of Operational Research*, 31(1). 78-84.

Dowsland, K.A., and Dowsland, W.B. (1992). Packing problems. *European Journal of Operational Research*, 56(1). 2-14.

Dowsland, K.A. (1996). Simple Tabu Thresholding and the Pallet Loading Problem. *Metaheuristics* (pp. 379-405): Springer.

Frenk, J. B., and Galambos, G. (1987). Hybrid next-fit algorithm for the two-dimensional rectangle bin-packing problem. *Computing*, 39(3). 201-217.

Lins, L., Lins, S., and Morabito, R. (2002). An n-tet graph approach for non-guillotine packings of n-dimensional boxes into an n-container. *European Journal of Operational Research*, 141(2), 421-439.

Lodi, A., Martello, S. and Vigo, D. (1999). Approximation algorithms for the oriented two-dimensional bin packing problem. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 158-166.

Martello, S., Pisinger, D. and Vigo, D. (2000). The three-dimensional bin packing problem. *Operations Research*, 48(2), 256-267.

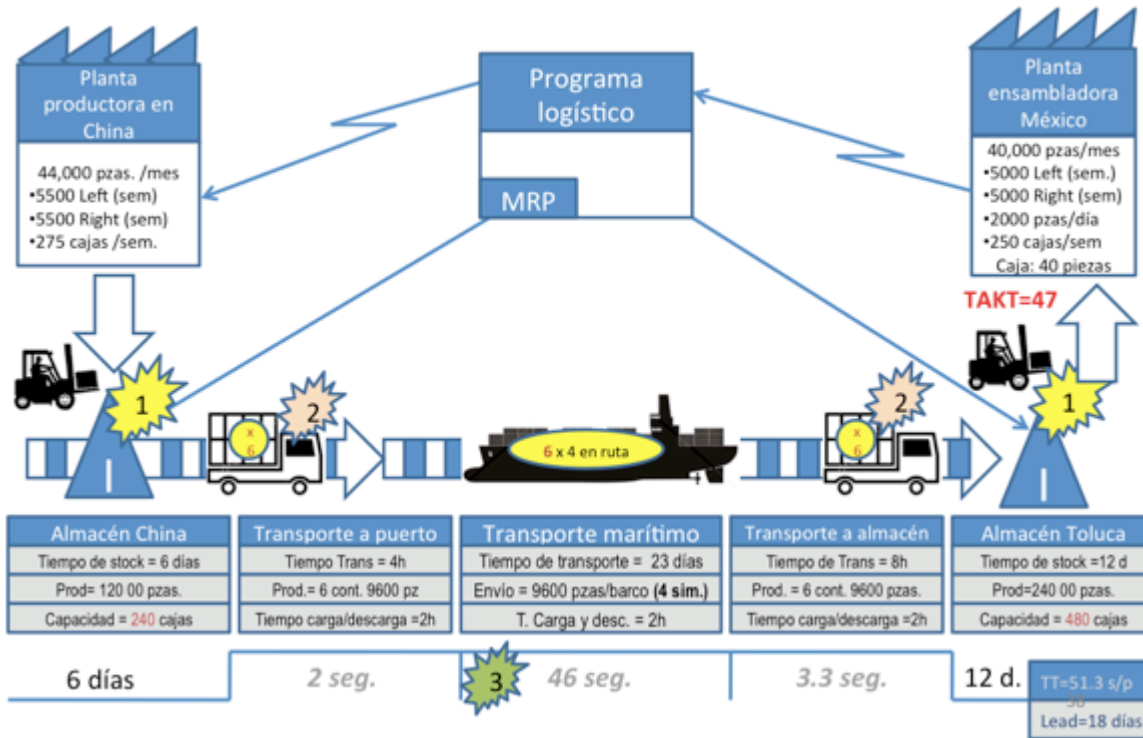
Steudel, H.J. (1979). Generating pallet loading patterns: a special case of the two-dimensional cutting stock problem. *Management Science*, 25(10), 997-1004.

Vega-Mejía, C., García-Cáceres, R., and Caballero-Villalobos, J. (2012). *Hacia la optimización integral de problemas de carga de contenedores*. Paper presented at the CLAIO Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa and SBPO Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Sep.

Wäscher, G., Haußner, H. and Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1109- 1130.

Sea rates LP 2005-20017. Recuperado de <https://www.searates.com/es/reference/equipment/3/>

Anexo 1. Mapa de flujo de valor futuro



Anexo 2. Código fuente en GAMS del modelo matemático

Sets

i Tipo de Caja /A, B, C, D, E, F/;

Parameters

Demanda Demanda diaria (piezas por semana) /10000/
PzasAncho(i) Piezas ancho de la caja /A 2, B 2, C 3, D 2, E 2, F 2/
PzasAlto(i) Piezas alto caja /A 5, B 5, C 5, D 6, E 3, F 5/
PzasLargo(i) Piezas largo caja /A 4, B 5, C 4, D 4, E 2, F 5/
CLC(i) Número de cajas a lo largo del contenedor(cajas) /A 10, B 9, C 10, D 10, E 20, F 9/
NCA(i) Número de cajas a lo ancho del contenedor(cajas) /A 2, B 1, C 1, D 2, E 2, F 2/
CAC(i) Número de cajas a lo alto del contenedor (cajas) /A 2, B 2, C 2, D 1, E 3, F 2/
NCaj(i) Número de cajas del tipo i en contenedor(cajas)
NcajAlm(i) Número de cajas del tipo i en almacén/A 300, B 240, C 200, D 250, E 1000, F 240/
PCont(i) Piezas por contenedor en la caja tipo i (piezas)
NP(i) Número de piezas en el tipo de caja i
CostoT Costo de transporte (dolares por contenedor) /5700/
H(i) Costo de almacén (dls por m2 por semana) Costo unitario de almacén en China
/A 2.3, B 4.1, C 3.5, D 3.5, E 0.9, F 2.7/ ;

*Cálculos de capacidad de número de piezas en: cajas, contenedor para estimación de
parámetros $NP(i)=PzasA$

$NP(i)=PzasAncho(i)*PzasAlto(i)*PzasLargo(i);$

$NCaj(i)=CLC(i)*NCA(i)*CAC(i);$

$PCont(i)=NP(i)*NCaj(i);$

DISPLAY NP;

Binary variable

Y(i) 1 si la caja tipo i es seleccionada de lo contrario 0

Integer variable

NCont(i) Número de contenedores semanales necesarios para cubrir la demanda

Positive Variables

CostoAlmacen Costo semanal de almacén (Dlrs por semana)

CostoTrans Costo semanal de transporte (Dlrs por semana)

gapCont(i) Excedente de material (Piezas)

Variable

CT Costo Total (función objetivo a minimizar) (Dlrs por semana) ;

Equations

E1,E1a,E2,E3(i),E4(i),E5(i),E6 ;

E1.. CT=e=CostoTrans+CostoAlmacen;

E1a.. CT=e=sum(i,CostoT*NCont(i))+sum(i,(H(i)*NcajAlm(i)*y(i)));

E2.. Demanda+sum(i,gapCont(i))=e=sum(i,NCont(i)*PCont(i));

E3(i).. gapcont(i)=g=0;

E4(i).. gapcont(i)=l=2000*y(i);

E5(i).. NCont(i)=l=10000*y(i);

E6.. sum(i,y(i))=e=1;

Model CADENA /all/;

Option MIP=cplex;

Solve CADENA using mip minimizing CT;

Display NCont.l, CT.l, gapcont.l;

Anexo 3. Resultados de las variables de decisión obtenidas al correr el modelo en GAMS

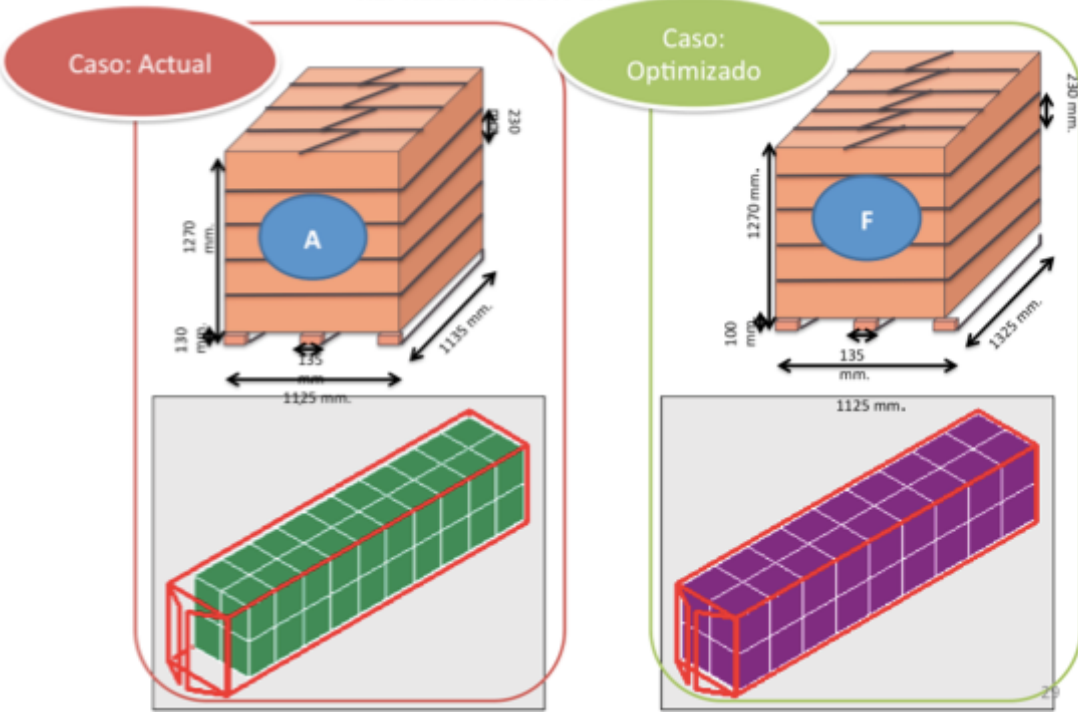
```
Execution
----- 63 VARIABLE NCont.L  Número de contenedores semanales necesarios para c
        ubrir la demanda
F 6.000
----- 63 VARIABLE CT.L      =    34848.000 Costo Total (función
        objetivo a minimizar)
        (Dls por semana)
----- 63 VARIABLE gapCont.L  Excedente de material (Piezas)
F 800.000

EXECUTION TIME      =          0.002 SECONDS      3 MB  24.4.5 r52258 WIN-VS8

USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC  G871201/0000CA-ANY
      Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com  DC0000

**** FILE SUMMARY
```

Anexo 4. Comparativa de caja de cartón caso actual contra caso optimizado dentro del contenedor marítimo



Anexo 5. Cambio en etiqueta maestra después de la implementación

