

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem. It features a central shield with a figure, likely a saint or historical figure, and is surrounded by Latin text. The outer ring of the seal contains the words "ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS CONSPICUA CAROLINA".

**APLICACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE CAUCHOS DE LLANTAS
PRINCIPALES Y DE NARIZ DE LA FLOTA DE AVIONES ATR42-300 PARA
TALLERES AL SERVICIO DE UNA AEROLÍNEA CON BASE
ADMINISTRATIVA EN GUATEMALA**

Allan Orlando Monterroso Escobar

Maestría en Administración Industrial y Empresas de Servicio

Guatemala, mayo 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure, likely a saint or religious figure, surrounded by various symbols including a crown, a cross, and a lion. The Latin motto "CETERAS URBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal.

**APLICACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE CAUCHOS DE LLANTAS
PRINCIPALES Y DE NARIZ DE LA FLOTA DE AVIONES ATR42-300 PARA
TALLERES AL SERVICIO DE UNA AEROLÍNEA CON BASE
ADMINISTRATIVA EN GUATEMALA**

Trabajo de graduación presentado por
Allan Orlando Monterroso Escobar

Para optar al grado de Maestro en Artes
Maestría en Administración Industrial y Empresas de Servicio

Guatemala, mayo 2014

JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

ÓSCAR MANUEL CÓBAR PINTO, Ph.D	DECANO
PABLO ERNESTO OLIVA SOTO, M.A.	SECRETARIO
LICDA. LILIANA VIDES DE URIZAR	VOCAL I
SERGIO ALEJANDRO MELGAR VALLADARES, Ph.D.	VOCAL II
LIC. RODRIGO JOSE VARGAS ROSALES	VOCAL III
BR. LOURDES VIRGINIA NUÑEZ PORTALES	VOCAL IV
BR. JULIO ALBERTO RAMOS PAZ	VOCAL V

CONSEJO ACADÉMICO
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ÓSCAR MANUEL CÓBAR PINTO, Ph.D.
VIVIAN MATTA DE GARCIA, Ph.D.
ROBERTO FLORES ARZÚ, Ph.D.
JORGE ERWIN LÓPEZ GUTIÉRREZ, Ph.D.
MSc. FÉLIX RICARDO VÉLIZ FUENTES

AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

A Dios	Por permitirme la vida y la de las personas excepcionales que me rodean.
A mi padre, Mario	Porque su sacrificio, amor y ejemplo fueron enormes. A pesar que físicamente no está, él jamás me ha abandonado.
A mi madre, Gilda	Por su dedicación incondicional al hogar, a la familia y ser un excelente ejemplo de trabajo.
A mis hermanas, Gaby y Ale	Por todo su apoyo, cariño y atenciones.
A mis amigos	Porque hacen la vida más sencilla y alegre.
A mis compañeros de MAIES	Por toda su entrega, su trabajo y los buenos momentos vividos.
A Avianca	Por facilitarme la información necesaria para el desarrollo del trabajo.

RESUMEN EJECUTIVO

La aviación es un mercado demasiado dinámico en donde la logística es sumamente importante. Las aeronaves viajan de un lugar a otro y las barreras de seguridad deben de ser bastante estrictas, el inventario de partes es un parámetro altamente incidente en la operación. Las llantas son componentes básicos y fundamentales, si el desgaste en las mismas está fuera de límites, el avión se queda en tierra.

La gestión de inventarios representa una actividad multivariable, esto significa que su optimización radica en el manejo de diferentes rubros, generalmente estos rubros están en función de los costos. Para comprender la importancia de esta optimización se deben evaluar dos perspectivas: la primera es la perspectiva de operaciones, operaciones pide que siempre haya inventario abundante en todas las estaciones. La otra perspectiva es la de finanzas, para finanzas los ahorros son primordiales, mientras se trabaje con menos presupuesto, será mejor.

La función en dónde convergen las variables financieras y operativas es el denominado modelo EOQ (Economic Order Quantity) en donde se representan los costos de logística y almacenaje (financieras) que al derivarse da como resultado la cantidad óptima a pedir de acuerdo a la demanda (operativa).

El uso de las llantas en los Aviones ATR42-300 es bastante variable y no se puede proyectar. La decisión del cambio de llanta obedece a la percepción del mecánico. En el presente informe la demanda se tomó de acuerdo a la rotación histórica, lo que requirió una labor investigativa más amplia fue el cálculo del costo de ordenar o costo de pedido, para determinarlo se hicieron entrevistas al Jefe de Compras Técnicas para Centroamérica, a la Coordinadora de Logística y cotizaciones aduanales, el costo de almacenaje fue determinado por la empresa, se adaptó a las dimensiones de las estanterías en donde se almacenan los cauchos y se hizo una media ponderada de acuerdo al inventario a manejarse en cada país, pues los costos varían de acuerdo a cada estación.

Se realizó la identificación de los valores de las variables operativas y financieras dentro de los reportes históricos de compra y utilización proporcionados por la empresa y a través del manual de mantenimiento de cauchos. Se ingresaron estos valores en la función del modelo EOQ, se analizaron los resultados para obtener las directrices que marcaron la cantidad óptima a pedir, para así obtener ahorro en la operación.

Los resultados obtenidos concluyen que la cantidad óptima a pedir es de 77 cauchos al año de llantas principales y 73 unidades para llantas de nariz, esto se traduce en un solo pedido al año por tipo de llanta; esto obedece a que el costo de ordenar es mucho más alto en relación al costo de almacenaje.

En la práctica no es posible hacer un pedido de estas dimensiones porque los talleres no tienen capacidad de almacenar tantos cauchos para un solo cliente, otro obstáculo es que una orden de compra para 77 cauchos representaría aproximadamente \$70,763.00 para llantas principales y \$33,120.00 para llantas de nariz, estas cifras aún para la aviación, resultan demasiado elevadas para una sola PO (orden de compra) y requeriría autorización del Vicepresidente Técnico de la organización.

Si bien es cierto, no se puede hacer un solo pedido con la cantidad óptima a ordenar, este estudio fijó un parámetro, una meta (Q^*) para un ahorro óptimo de \$1,952.07; se sabe que mientras más se acerque a ese Q^* el costo total estará minimizándose, para fines de la práctica se incluyó una segunda variable denominada Q_2 , esta representa la cantidad máxima permisible a ordenar en función de la capacidad de almacenaje de los talleres y de la erogación en una orden de compra, esta cantidad es de 32 unidades el cual representa un ahorro total de \$1,482.25.

El modelo también desplegó la cantidad de pedidos óptima, para las llantas principales se deben hacer aproximadamente 3 al año y para las llantas de nariz serían aproximadamente 2 pedidos por año.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	
II.	ANTECEDENTES.....	1
A.	Ficha técnica del ATR42-300.....	1
B.	Manual de mantenimiento Michelin.....	5
1.	Manejo de llantas y tubos.....	8
C.	Manejo de inventarios.....	9
D.	El modelo EOQ.....	15
E.	Otros modelos de cálculo de la cantidad óptima de pedido.....	20
1.	Cálculo óptimo del lote con reabastecimiento instantáneo y faltantes permitidos	20
2.	Tamaño óptimo del lote, ciclo productivo sin faltantes	20
3.	Tamaño económico del lote, ciclo productivo con faltantes permitidos.....	21
4.	Tamaño óptimo del lote cuando se permiten descuentos por volumen.....	22
F.	La gestión de compras	22
1.	El proceso de aprovisionamiento de cauchos según el manual de aprovisionamiento de la aerolínea	23
III.	JUSTIFICACIÓN	25
IV.	OBJETIVOS	26
A.	Objetivo General.....	26
B.	Objetivos Específicos	26
VI.	METODOLOGÍA	27
A.	Tipo de estudio	27
B.	Población	27
1.	Muestra.....	27
C.	Variables	27
D.	Métodos y técnicas de recolección de datos	28

E.	Métodos de análisis de datos	29
VII.	RESULTADOS	30
A.	Rotación de llantas principales	30
B.	Obtención de demanda (a)	30
C.	Inventario de abastecimiento (Q)	31
D.	Costo de ordenar un lote (K)	32
E.	El costo de mantener el inventario por unidad (h)	34
F.	El modelo EOQ.....	36
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
A.	Demanda de unidades (a)	43
B.	Inventario de abastecimiento (Q)	43
C.	Costo de ordenar (K)	43
D.	Costo de comprar (c)	44
E.	Costo de almacenaje (h)	44
F.	Obtención de la cantidad óptima a pedir (Q*).....	45
G.	El tiempo de ciclo	46
H.	El costo total por año	46
IX.	CONCLUSIONES	47
X.	RECOMENDACIONES	48
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
XII.	ANEXOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Aeronave ATR42-300	3
2. Aeronave ATR42-300 en vuelo.....	3
3. Tren de aterrizaje principal de un ATR42-300.....	4
4. Tren de aterrizaje de nariz de un ATR42-300.....	4
5. Imagen de un caucho para llanta principal de ATR42-300.....	6
6. Corte transversal de un caucho para ATR42-300.....	6
7. Nomenclatura de identificación de cauchos	7
8. Almacenaje correcto para cauchos en general.....	9
9. Representación gráfica del modelo básico de EOQ	18
10. Compromiso entre costo de almacenamiento y costo de pedido.....	18
11. Comparación de frecuencias de pedidos	19
12. Comportamiento del abastecimiento permitiendo faltantes	20
13. Comportamiento del abastecimiento produciendo y sin permitir faltantes	21
14. Comportamiento del abastecimiento produciendo y permitiendo faltantes	21
15. Gráfico de la función Costo Total en función de Q para llantas principales.....	39
16. Gráfico de la función Costo Total en función de Q para llantas de nariz	41

ÍNDICE DE TABLAS

1. Especificaciones de caucho para ATR42-300.....	2
2. Codificación para década y lugar de fabricación	7
3. Rangos de descuento por volumen	22
4. Órdenes de llantas generadas en 2012.....	30
5. Proyección de demanda anual de ruedas principales y de nariz.....	31
6. Total del costo de ordenar	34
7. Costo anual de almacenaje por metro cuadrado	35
8. Tabulación de datos de entrada del modelo para llantas principales.....	36
9. Evaluación de “Q” para función Costo Total para llantas principales	38
10. Tabulación de datos de entrada del modelo para llantas de nariz	39
11. Evaluación de “Q” para función Costo Total para llantas de nariz.....	41
12. Cuadro comparativo de Costos Totales por cada “Q” para llantas principales.....	42
13. Cuadro comparativo de Costos Totales por cada “Q” para llantas de nariz.....	42

I. INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de materiales es un proceso completamente diferente para cada empresa, además los materiales tienen diferentes necesidades de cuidado, mantenimiento, almacenaje e incluso aranceles, eso añade un grado de complejidad a la administración de inventarios. La aviación es un área bastante restrictiva en cuanto a normas aplicadas en los materiales a utilizar, lo cual es comprensible por la naturaleza del negocio, es por eso que dentro de este estudio no se dejó de lado información general sobre la aeronave y especificaciones sobre los cauchos que utilizan, así como normativas de almacenaje.

La correcta gestión de inventarios representa un ahorro significativo para las empresas, no solo en cuanto a costos de almacenaje, sino también en costos de logística, de orden y de tiempo; es por eso que todo debe conjugarse para evitar la escasez. Al poner todo bajo el mismo escenario, resulta un proceso con muchas variables a optimizar.

Lo que pretendió este estudio fue aplicar un modelo de optimización de inventarios y así desplegar la cantidad de pedidos que se debe realizar al año a manera de que la operación jamás se entorpezca y que todos los procesos fluyan de forma normal.

Una parte fundamental del estudio consistió en la identificación del modelo de gestión de inventarios a aplicar, pues no todo el abastecimiento se comporta de la misma forma, incluso existe una separación de rubros que definen las ecuaciones a utilizar. Se trató de ir más allá de un simple cálculo o la aplicación de una ecuación en un problema de un libro, lo que se buscó fue la aplicación del modelo adaptándolo a la vida real y a las políticas de la empresa, se hizo uso de la fortaleza de la información disponible, por ejemplo, la gestión de cada persona, el seguimiento y el control del inventario.

El cálculo aplicado a modelos brinda certeza para hacer pedidos, es un signo de organización y una señal que demuestra que se hacen los esfuerzos por optimizar los costos.

La labor investigativa de consolidar costos fue la parte más trabajosa, sin embargo, valió la pena el uso de la herramienta ya que representó una forma elegante y precisa de hacer una proyección.

No siempre un modelo matemático es aplicable a la práctica, sin embargo, marca parámetros, metas y describe comportamientos lo cual es información muy útil para realizar una buena gestión.

II. ANTECEDENTES

Este estudio va dirigido al abastecimiento de cauchos de hule y de nariz para una flota de aviones ATR42-300, este tipo de aviones es utilizado para una operación regional, representa una opción más económica para poder cubrir rutas cortas.

Para poder entrar en el contexto de la aeronave, Demand Media, Inc. (2013) publicó en su página web: <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=41> la siguiente ficha técnica:

A. Ficha técnica del ATR42-300

- **País de origen:**

Italia y Francia.

- **Potencia:**

Dos motores turboprop con una potencia de 1340kW (1800 shp) marca Pratt and Whitney PW-120, el cual mueve 4 hélices marca Hamilton Standard.

- **Desempeño:**

Velocidad máxima de vuelo: 490 km/h

Velocidad económica de vuelo: 450 km/h

Distancia recorrida a máxima velocidad con los tanques y reservas de combustible llenas: 5040 km

- **Peso:**

Operando vacío: 2,285 Kg ó 22,674 lbs

Máximo peso permitido para despegue: 16,700 kg ó 36,817 lbs

- **Capacidad:**

Con un piloto y un copiloto, una acomodamiento máximo de 50 pasajeros, 48 ó 46 con un espacio longitudinal de 76 cms, 42 si hay un espacio longitudinal de 81 cms.

Un avión carguero puede llevar nueve contenedores para un total de carga de 4,000 Kg.

- **Historia:**

La empresa Aerospatale and Aeritalia (ahora Alenia) estableció Avions de Transport Regional como un Groupement d'Interet Economique bajo la ley francesa para desarrollar una familia de aviones regionales. El ATR 42 fue el primer avión del consorcio y fue lanzado en Octubre de 1981. .

Los primeros dos prototipos de ATR42 volaron por primera vez el 16 de Agosto de 1984. Autoridades francesas e italianas otorgaron su certificación en Septiembre de 1985 y el primer ATR ingresó a servicio el 9 de Diciembre de 1985.

El ATR42 inicial fue la producción estándar de la familia ATR42 hasta 1996 caracterizándose por una capacidad de carga más grande y un peso máximo de despegue mayor que otros prototipos.

A mediados de la primera década del 2000, ATR lanzó un programa de conversión del ATR42 al ATR72. (Demand Media, Inc., 2013)

Los datos presentados anteriormente son bastante generales, sin embargo permiten la familiarización con la historia y evolución de la aeronave ATR42-300.

Tabla 1 Especificaciones de caucho para ATR42-300

MODELO	SERIE	TREN	TAMAÑO	No. de Parte	Tipo
ATR42	N/A	Principal	32x8.8R16	M13201	Michelin Air X
ATR42	N/A	Naríz	435x190R5	M09601	Michelin Air X
ATR42	N/A	Naríz	450x190-5	026-545-0	Michelin Air

Fuente: http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

Una llanta de aeronave debe soportar una gran gama de condiciones operacionales. Mientras está en tierra, debe soportar el peso de toda la aeronave, durante el curso en tierra, debe proveer estabilidad, un viaje amortiguado mientras resiste calor, abrasión y desgaste.

Durante el despegue, la estructura de la llanta debe ser capaz de soportar, no solo la carga del avión, sino que también las fuerzas generadas por altas velocidades angulares.

El aterrizaje requiere que la llanta absorba impactos, mientras que también debe aportar un frenado dinámico, además se espera que el caucho tenga un tiempo de vida aceptable.

Las llantas o cauchos Michelin cubren y sobrepasan los requerimientos mínimos en pruebas realizadas por la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos (FAA, Federal

Aviation Administration) de Estados Unidos y la Agencia Europea de Seguridad de Aviación (EASA European Aviation Safety Agency). (Michelin Aircraft Tires, 2013)

Figura 1 Aeronave ATR42-300



Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Aeronave ATR42-300 en vuelo



Fuente: www.worldairlinenews.com

Figura 3 Tren de aterrizaje principal de un ATR42-300



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Tren de aterrizaje de nariz de un ATR42-300



Fuente: Elaboración propia

B. Manual de mantenimiento Michelin

Existe un manual especialmente dedicado a la descripción, cuidado y manejo de llantas y cauchos. Michelin Aircraft Tires describe su manual así:

Este manual es presentado como una guía para ayudar a los dueños y al personal encargado del mantenimiento para obtener un máximo tiempo de servicio y vida de los cauchos de llantas marca Michelin. A menos que se afirme lo contrario, aplica para llantas radiales y no radiales o “bias, para llantas nuevas o reencauchadas (Michelin Aircraft Tires, 2011)

Los temas que incluyen dicho manual son:

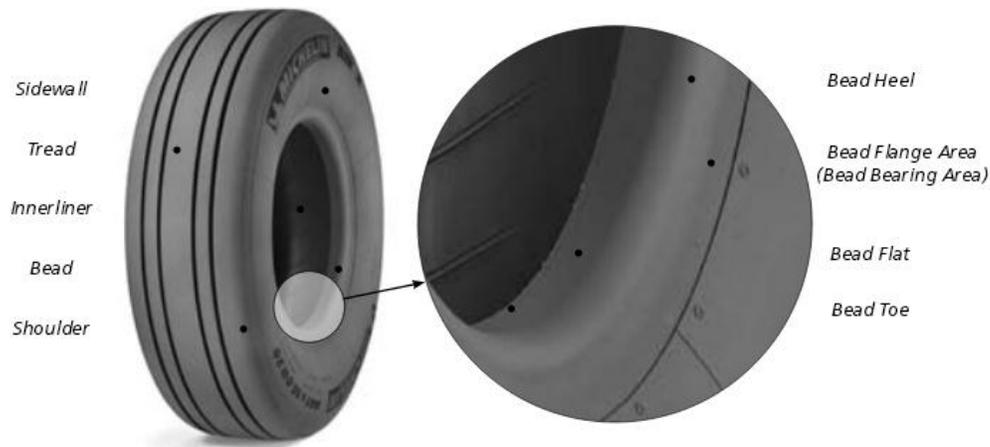
- Descripción de las llantas y su terminología
- Almacenamiento y manejo
- Procedimientos de servicio e inflado
- Guía cazafallas.

Este manual tiene como propósito complementar las instrucciones específicas publicadas por el fabricante del avión y del aro, esto incluye el Manual de Mantenimiento de Componentes o CMM.

Cualquier usuario de este manual que encuentre alguna irregularidad deberá contactarse con algún representante de Michelin.

La estructura y composición de las llantas se muestran en las siguientes figuras obtenidas del Manual de Mantenimiento para Llantas y Tubos Michelin.

Figura 5 Imagen de un caucho para llanta principal de ATR42-300



Fuente: http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

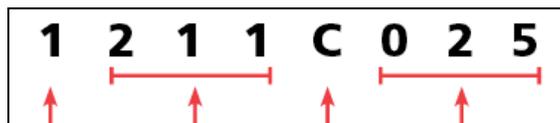
Figura 6 Corte transversal de un caucho para ATR 42-300



Fuente: http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

Michelin Aircraft Tires (2011) describe la siguiente nomenclatura para la identificación de sus cauchos.

Figura 7 Nomenclatura de identificación de cauchos



Fuente: http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

1: Año de fabricación, se refiere al dígito que acompaña a la década, por ejemplo: 1 significa 2011.

211: Día de fabricación de acuerdo al calendario gregoriano, por ejemplo, el día número 211 del año.

C: Década y lugar de fabricación de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2 Codificación para década y lugar de fabricación

	Through Dec. 31, 1995 included	From Jan. 01, 1996 to Dec. 31, 1999 included	From Jan. 01, 2000 to Dec. 31, 2009 included	From Jan. 01, 2010 to Dec. 31, 2019 included	From Jan. 01 2020 to Dec. 31, 2029 included
Bourges (France)	B	B	A	C	B
Clermont-Fd (France)	F	F	G	N/A	N/A
Norwood (USA)	N	P	U	R	P
Nong Khae (Thailand)	T	T	W	S	T
Greenville (USA)	K	K	L	J	K

Fuente: http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

025: Número de serie único de producción

1. Manejo de llantas y tubos:

Los cauchos están diseñados para ser resistentes y durables, para soportar alta carga y velocidades, sin embargo, pueden ser dañados o cortados por objetos filosos o puntiagudos o si se les aplica una fuerza excesiva. (Michelin Aircraft Tires, 2011)

Un punto de bastante interés consiste en el correcto almacenaje de las unidades, un buen almacenaje extiende el tiempo de vida de las llantas, reduce costos y ayuda a reducir problemas con la confiabilidad.

El medio ideal para el almacenaje de los cauchos es un ambiente frío y seco, a pesar de que se busca un ambiente frío, tampoco deben estar expuestos a corrientes de aire ni polvo. Los tubos y llantas Michelin no tienen límites de vida. (Michelin Aircraft Tires, 2013)

El manual establece que desde cualquier punto de vista, se debe evitar la exposición de las llantas al ozono, cualquier fuente, incluso aire acondicionado. También se debe evitar la luz, es preferible un cuarto oscuro, la luz solar puede ser dañina para el material e incluso puede llegar a deformarlo.

Otras sustancias que se deben evitar son la gasolina, el petróleo, aceite, alcohol, agua y jabón; estos materiales deterioran el caucho poniéndolo esponjoso, un caucho esponjoso NO es útil para la operación.

Las llantas deben almacenarse verticalmente sobre estantes o “racks”, se debe evitar colocar una llanta sobre otra, pues ante una exposición prolongada a una fuerza, puede deformar, incluso desbalancear las llantas, esto causaría problemas de vibración en el despague y aterrizaje de la aeronave. Si el tiempo de almacenaje resulta ser demasiado prolongado, es recomendable rotar las llantas y cambiarlas de posición en el estante.

Figura 8 Almacenaje correcto para cauchos en general



Fuente: http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

C. Manejo de inventarios

¿Qué es el inventario? Fernando Álvarez hace un análisis del término:

En la acepción más amplia de la palabra, los inventarios son recursos utilizables que se encuentran almacenados para su uso posterior en un momento determinado. Algunos autores los definen simplemente como bienes ociosos almacenados, mientras que otros autores lo definen como un activo corriente de vital importancia para el funcionamiento de la empresa.

En resumen, un inventario es una provisión de materiales que tiene por objeto facilitar la producción o satisfacer la demanda de los clientes; los inventarios incluyen materia prima, producto en proceso, artículos terminados, etc. (Álvarez, 2007, pp 1)

Es un hecho que el inventario y su mantenimiento cuesta dinero, definitivamente es un activo circulante y que significa una inversión más que una pérdida, pero el problema es que el costo de mantenimiento de inventario si corresponde a un gasto y los gastos hay que reducirlos por definición.

Como expresa el mismo Álvarez: “El problema básico de inventarios consiste en encontrar un balance entre mantenerlos o no”. (Álvarez, 2007, pp 1). Cero gastos en inventarios y mantenimiento de los mismos será ideal, pero se sabe que esta situación es demasiado idealizada que colinda en lo irreal, incluso la misma filosofía JAT (Justo a Tiempo) permiten cierto inventario para dar tolerancia al sistema.

Mario Rousselin, hace un cuadro comparativo de la tenencia de inventarios:

Argumentos a favor:

- Mejora del servicio al cliente
- Reducción de costos (por eficiencia productiva)
- Reducción de costos de oportunidad

Argumentos en contra:

- Se consideran como desperdicios (Muda)
- Pueden cubrir problemas operativos

(Rousselin, 2012, pp. 4-6)

De acuerdo a Creative Commons Attribution Share-Alike en su sitio web para la Universidad Manuela Beltrán de Ecuador, la administración de inventarios se centra en cuatro aspectos básicos:

- Cuántas unidades deberían ordenarse o producirse en un momento dado.
- En qué momento debería ordenarse o producirse el inventario.
- Que artículos del inventario merecen una atención especial.
- Puede uno protegerse contra cambios en los costos de los artículos del inventario.

(Creative Commons Attribution Shaare-Alike, sf)

El actual caso en estudio la operación gira en torno a la satisfacción de un cliente interno: mantenimiento y no existe una relación monetaria directa con la “venta” del producto en almacenaje, más bien el cliente directo se satisface de forma indirecta al cumplir con los requerimientos de mantenimiento, sin embargo, vale la pena mencionar lo siguiente:

En algunos casos los inventarios representan el 25% de los activos de muchas empresas. De todos los elementos que comprende la forma del ROI, el inventario es el que tiene mayor potencial para casi todos los administradores y consultores. Una disminución en la inversión de inventarios es susceptible de generar mejoras rápidas en el ROI, el ROI es la $(\text{Ganancia de la inversión} - \text{Costo de la inversión}) / \text{Costo de la inversión}$. (Calderón, 2005, pp. 13)

La reducción de inventario para dar valor agregado al producto no es algo nuevo, o una tendencia temporal, la acostumbrada innovación japonesa utiliza esta estrategia desde los años 80, este es uno de los pilares de la filosofía JAT (Justo a tiempo), la reducción del desperdicio.

La reducción del desperdicio no es otra cosa que la eliminación de cualquier actividad que no de valor agregado a la principal actividad a desarrollar, un producto o un servicio.

En la filosofía JAT hay tres importantes componentes básicos para eliminar el desperdicio. El primer componente básico de la eliminación del desperdicio es imponer el equilibrio, sincronización y flujo en el proceso fabril, ya sea donde no existan o donde se les pueda mejorar.

El segundo componente es la actitud de la empresa hacia la calidad: la idea de hacerlo bien a la primera vez. Y el tercer componente es la participación del personal. (Hay, 1989, pp 3)

Si bien es cierto, este estudio no contempla la aplicación de la filosofía JAT, se mencionó la anterior cita para establecer el punto de que una empresa que tenga menor inventario, sin comprometer la operación, será más exitosa que una que acumule demasiadas existencias que al final se ven traducidas en gastos de almacenaje.

En la aviación sería casi imposible el eliminar por completo los inventarios, debido a la naturaleza del negocio, además va de la mano con los propósitos para los cuales los inventarios son empleados:

Entre las razones más importantes para constituir y mantener un inventario se cuentan:

- Capacidad de predicción: Con el fin de planear la capacidad y establecer un cronograma de producción. El inventario debe mantener el equilibrio entre lo que se necesita y lo que se procesa.
- Fluctuaciones en la demanda: Una reserva de inventario a la mano supone protección: No siempre se sabe cuánto va a necesitarse en un momento dado. Las sorpresas en las fluctuaciones de la demanda se mantienen al mínimo.
- Inestabilidad del suministro: El inventario protege de la falta de confiabilidad de los proveedores o cuando escasea un artículo y es difícil asegurar una provisión constante.
- Protección de precios: La compra acertada de inventario en los momentos adecuados ayuda a evitar el impacto de inflación de costos.
- Descuento por cantidad: Con frecuencia se ofrecen descuentos cuando se compra en cantidades grandes en lugar de pequeñas.
- Menores costos de pedido: Si se compra una cantidad mayor de un artículo, pero con menor frecuencia, los costos de pedido son menores.

Siempre debe haber un equilibrio ya que los costos de mantener un artículo por un período de tiempo mayor pueden ser más altos. (Müller, 2005, pp 3-4)

Al ser un mercado escaso y especializado, las anteriores situaciones o propósitos de los inventarios aplican directamente al consumo de cauchos para la flota en cuestión. Se necesita predicción para la planificación de producción de Michelin.

Existen fluctuaciones en la demanda, hay meses o incluso semanas en que la tasa de remoción de llantas aumenta considerablemente. Michelin puede llegar a ser inestable en cuanto a su producción y capacidad de respuesta a determinada demanda. Los precios varían de acuerdo a las condiciones socioeconómicas de Estados Unidos y del mundo, por lo que se puede caer fácilmente en inflación desmesurada.

No aplica el descuento por cantidad ante Michelin, pero definitivamente es más sencillo para ellos realizar un pedido grande. Los costos asociados con la aduana y transporte serían más pequeños para lotes grandes que para lotes pequeños frecuentes.

En el párrafo anterior se mencionaron otros parámetros bastante importantes asociados con la gestión de inventarios, y más que importante, son discriminantes en cuanto a la elección de una forma de suministro u otro, se refiere a los costos.

Al tomar cualquier decisión que afecte el tamaño del inventario, es necesario considerar los costos siguientes:

- **Costo de mantenimiento o transporte:** Esta amplia categoría incluye los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios y daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y el costo de oportunidad del capital. Como es obvio, los costos de mantenimiento suelen favorecer los niveles de inventario bajos y la reposición frecuente.
- **Costos de configuración o cambio de producción:** La fabricación de cada producto comprende la obtención del material necesario, el arreglo de las configuraciones específicas en el equipo, el llenado del papeleo requerido, el cobro apropiado del tiempo y el material, y la salida de las existencias anteriores. Si no hubiera costos ni tiempo perdido al cambiar un producto a otro, se producirían muchos lotes pequeños.
- **Costo de pedidos:** Estos costos se refieren a los costos administrativos y de oficina por preparar la orden de compra o producción. Los costos de pedidos incluyen todos los detalles, como el conteo de piezas y el cálculo de las cantidades a pedir.
- **Costo por faltantes:** Cuando las existencias de una pieza se agotan, el pedido debe esperar hasta que las existencias se vuelvan a surtir o bien es necesario cancelarlo. Se establecen soluciones de compromiso entre manejar existencias para cubrir la demanda y cubrir los costos que resultan por faltantes.

Establecer la cantidad correcta a pedir a los proveedores o el tamaño de los lotes en las instalaciones productivas de la empresa comprende la búsqueda del costo total mínimo que resulta de los efectos combinados de cuatro costos individuales: **costos de mantenimiento, costos de configuración, costos de pedidos y costos de faltantes.** (Chase, 2009, pp 549)

Dada la importancia y el impacto económico que representan para las operaciones, se ha clasificado el inventario en varios rubros:

- Inventario de mercancías
- Inventario de materias primas o materiales
- Inventario de repuestos o suministros de fábrica
- Inventario de productos en proceso
- Inventario de producto terminado
- Inventario en tránsito

Los inventarios se clasifican según el tipo de empresa del que se trate. Por ejemplo, las empresas comerciales no tendrán los tipos de inventarios de las empresas fabriles. Las empresas comerciales son intermediarios entre el productor y el consumidor y su función principal es la compra y venta de productos terminados. (Rodríguez, 2008, pp. 3)

Los cauchos, en este caso, son empleados como repuestos y caerían en la clasificación de inventarios de repuestos o suministros de fábrica, Rodríguez define esta categoría de la siguiente manera:

Inventarios de repuestos o suministros de fábrica

Esta constituyen aquellos materiales que aunque son necesarios en el procedimiento de fabricación no pueden identificarse en determinado producto en el transcurso de la fabricación, pero su valor forma parte del costo del producto final; integrando lo que son costos indirectos o de carga fabril en el proceso de fabricación, y del producto terminado, en cantidades menores en relación a la materia prima. (Rodríguez, 2008, pp. 3)

Adaptando la anterior definición al contexto de interés se observa que la palabra clave es “repuesto”; en realidad los cauchos son “repuestos” para los ensamblajes de llantas para el ATR42-300.

Únicamente el caucho no tendría razón de ser, ni de inventariarse, pero si se adhiere al aro bajo las condiciones requeridas, se obtiene el producto terminado que es la armazón del caucho junto con el aro para dar lugar a la llanta o al ensamblaje.

La demanda para estos casos es determinística. es decir, el tipo de demanda en donde existe una mayor certeza sobre el consumo de las unidades y no está tan sujeta a fluctuaciones o variantes, como por ejemplo, tasas de cambio de dólares, valores de acciones, etc.

Para una demanda determinística resulta factible utilizar los datos históricos como formas de predicción previo a una optimización, es una buena base para encontrar la cantidad a ordenar, con un inventario de seguridad. “Un inventario de seguridad es la diferencia entre el nuevo pedido y la demanda esperada durante el tiempo de abastecimiento” (Gould, Eppen y Schmidt, 2000, pp. 493)

Al final, ¿Qué es lo que se tiene que optimizar? ¿Cuáles son las variables cuyo comportamiento origina tal estudio? La respuesta a estas interrogantes las proporciona

Taha:

Cuanto más pequeña es la cantidad y ordenada, más frecuente será la colocación de nuevos pedidos. Sin embargo, se reducirá el nivel promedio del inventario mantenido en almacén. Por otra parte, pedidos de mayor cantidad indican nivel de inventario grande, pero colocación menos frecuente de pedidos. Debido a que existen costos asociados al colocar los pedidos y mantener el inventario en almacén y se selecciona para permitir un compromiso entre los dos tipos de costo. (Taha, 2004, pp.567)

D. El modelo EOQ

El inventario ha sido un tema de preocupación incluso desde la época de la Revolución Industrial, esta época se caracteriza por la marca de hitos y por la necesidad de los gigantes de la industria para seguir innovando ante la puja de la guerra industrial, la misma necesidad ha ido requiriendo la aplicación de más teorías y modelos matemáticos para el desarrollo económico:

En 1915, F.W. Harris desarrolló el modelo de la cantidad económica de pedido, que sirve para determinar el volumen óptimo de materiales o artículos que deben adquirirse o fabricarse.

El interés por el estudio de los inventarios ha sido de gran importancia, puesto que frecuentemente representan más del 30% de los activos totales de una organización, y demandan cargos extras: mantenimiento, primas de seguro, almacenaje, gastos administrativos.

Por tanto, administrarlos no simplemente es una buena estrategia, sino una necesidad financiera: se puede alcanzar un equilibrio entre la satisfacción del cliente y las inversiones en activo a través de una buena administración de inventarios.

Los inventarios se consideran recursos utilizables almacenados en algún punto determinado del proceso. En el de producción, están definidos en la materia prima; y en el de venta, están marcados por el número total de productos terminados que se pueden ofrecer al mercado en un momento dado. (Who's among us Inc., sf)

El modelo matemático a aplicar en este caso es el modelo EOQ (Economic Order Quantity) considera como variables los costos anteriormente descritos conjugándolos en función de la demanda. La demanda y su comportamiento en general es el punto de partida para elegir o desechar un modelo.

El estudio de la demanda debe cumplir con la función de proporcionar información que permita el establecimiento de planes que cubran las necesidades futuras en la adquisición de productos, además se hace indispensable planear el presupuesto de compra, espacio de almacenamiento, generación de pronósticos de compra, etc. (Tobías Pivaral, 2012, p.p 43)

Otro supuesto de entrada importante que señala hacia un modelo EOQ básico es que la demanda es determinística y no probabilística:

Una demanda determinista puede ser:

- Estática: en el sentido que la tasa de consumo permanezca constante durante el transcurso del tiempo.
- Dinámica: donde la demanda se conoce con certeza, pero varía al período siguiente.
- Una demanda probabilística tiene análogamente dos clasificaciones:
- Estado estacionario: donde la función de densidad de probabilidad de la demanda se mantiene sin cambios con el tiempo.
- Estado no estacionario: donde la función de densidad de probabilidad varía con el tiempo.

El tipo de demanda es el factor principal en el diseño de un modelo. (Sánchez, 2013)

Habiendo establecido las características de la demanda, se trata ahora el modelo persé, es el paso a seguir luego de haber identificado el comportamiento general de lo demandado.

Se supone que los artículos bajo consideración se sacarán en forma continua a una tasa constante conocida denotada “a”; es decir, la demanda es de “a” unidades por unidad de tiempo. Se supone también que el inventario se reabastece (al producir u ordenar) un lote de tamaño fijo (Q unidades), dónde las Q unidades llegan juntas en el tiempo deseado.

Suposiciones del modelo EOQ básico:

1. Se conoce la tasa de demanda de unidades por unidad de tiempo
2. Se conoce la cantidad ordenada para reabastecer el inventario, este es el valor a optimizar.
3. No se aceptan faltantes.

Definición de variables:

- Demanda de unidades por unidad de tiempo: “a”
- Inventario de abastecimiento: “Q”
- Costo de preparación para producir u ordenar un lote: “K”
- Costo de producir o comprar cada cantidad: “c”
- Costo de mantener el inventario por unidad, por unidad de tiempo: “h”

El objetivo consiste en determinar con qué frecuencia y en qué cantidad reabastecer el inventario de manera que se minimice la suma de estos costos por unidad de tiempo. (Hillier y Liebreman, 2004, p.p 941-942)

$$\text{Costo por ciclo} = K + cQ$$

$$\text{Costo mantener inventario} = \frac{hQ^2}{2a}$$

$$\text{Costo total por ciclo} = K + cQ + \frac{hQ^2}{2a}$$

Entonces :

$$\text{Costo Total por unidad de tiempo} = \frac{K + cQ + \frac{hQ^2}{2a}}{Q/a}$$

Simplificando,

$$T = \text{Costo Total por unidad de tiempo} = \frac{aK}{Q} + ac + \frac{hQ}{2}$$

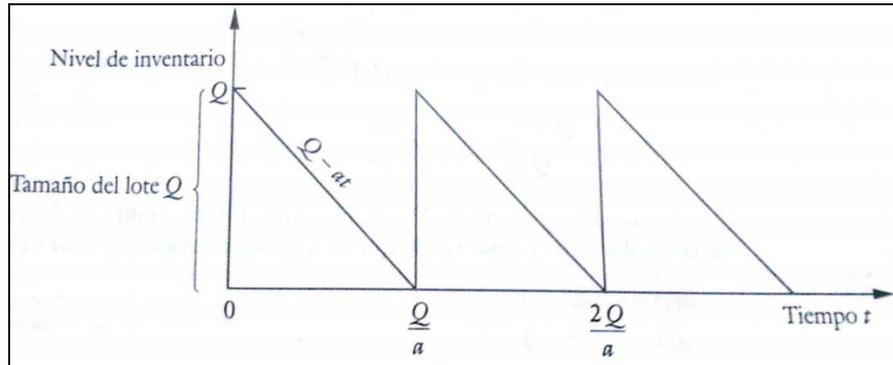
Para obtener el valor óptimo, se deriva toda función f(T) con respecto a la variable Q, se iguala a 0 y se despeja para hallar Q óptimo. La ecuación obtenida de esta optimización da como resultado la cantidad de pedido óptima y es la ecuación principal del modelo EOQ:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2aK}{h}}$$

El tiempo de ciclo resulta luego de dividir la Q óptima entre la demanda de unidades por unidad de tiempo:

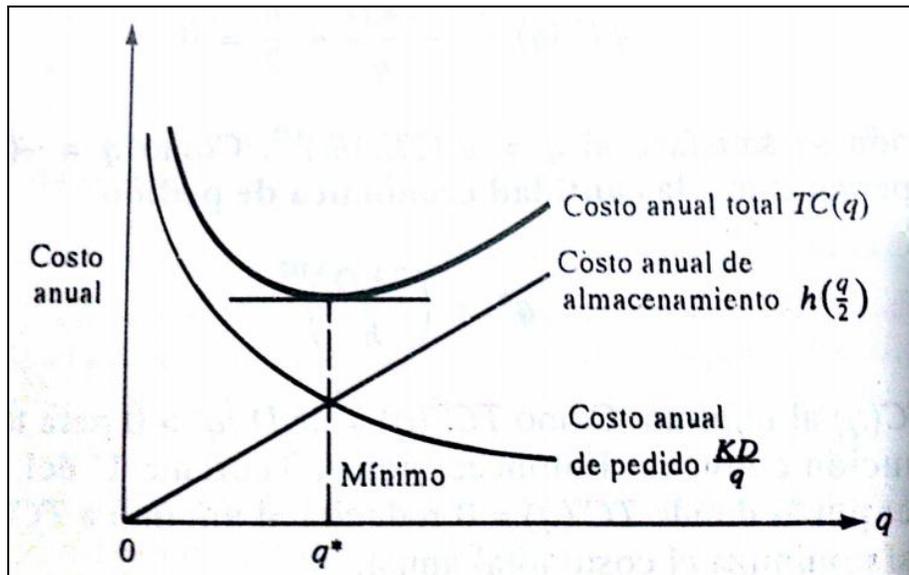
$$t^* = \frac{Q^*}{a} = \sqrt{\frac{2K}{ah}}$$

Figura 9 Representación gráfica del modelo básico de EOQ



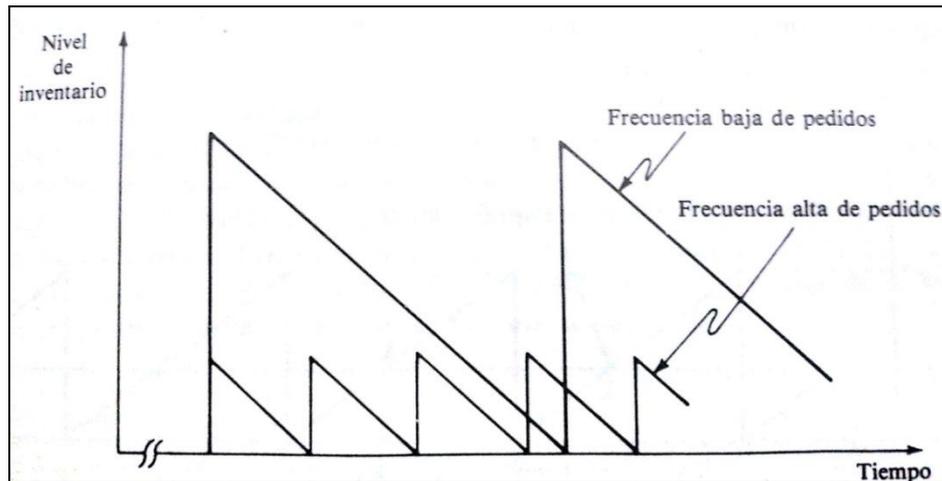
Fuente: Hilier y Lieberman, 2004, pp 941.

Figura 10 Compromiso entre costo de almacenamiento y costo de pedido



Fuente: Wayne, 2010, pp.866

Figura 11 Comparación de frecuencias de pedidos.



Fuente: Taha, 2004, pp. 567

Un modelo, mientras más variables procese, será mejor, sin embargo existen factores que se deben considerar los cuales pueden influir en los resultados:

- Demoras en la entrega: al colocar un pedido, puede entregarse inmediatamente o requerir de cierto tiempo.
- Reabastecimiento del almacén, el abastecimiento del almacén puede ser instantáneo (cuando compra de fuentes externas), o uniforme (cuando el producto se fabrica dentro de la organización).
- Horizonte de tiempo, que puede ser finito o infinito.
- Abastecimiento múltiple: Un sistema de inventario puede tener varios puntos de almacenamiento (en vez de uno).
- Número de artículos: Puede contener más de un artículo, caso que es de interés, principalmente si existe alguna clase de interacción entre diferentes artículos. (Sánchez, 2013).

El modelo de abastecimiento se encuentra en un contexto periódico, es decir, mientras las condiciones de mercado permanezcan iguales, el modelo sigue su secuencia a lo largo del tiempo. Es por eso que utilizamos el concepto de ciclo: "Cualquier intervalo de tiempo que comienza con la llegada de una orden y termina antes de la llegada de la orden siguiente se denomina ciclo." (Blanco, 2011, <http://induoperacionesdos.blogspot.com/p/modelos-de-inventarios.html>)

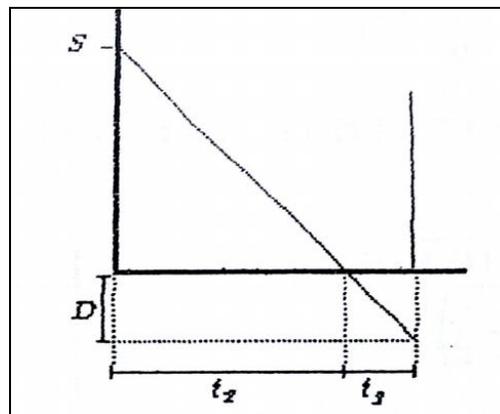
E. Otros modelos de cálculo de la cantidad óptima de pedido

Se incluyen otros modelos para diferentes circunstancias de abastecimiento.

1. Cálculo óptimo del lote con reabastecimiento instantáneo y faltantes permitidos

En muchos casos de la vida real no se cumple la demanda a tiempo y se presentan escaseces. Cuando hay carestía se incurre en costos, debidos a pérdida de clientes, costo de hacer pedidos especiales, pérdida de clientes, costo de hacer pedidos especiales, pérdida de buena voluntad en el futuro, y cosas de esta naturaleza (Wayne, 2010, pp.881)

Figura 12 Comportamiento del abastecimiento permitiendo faltantes



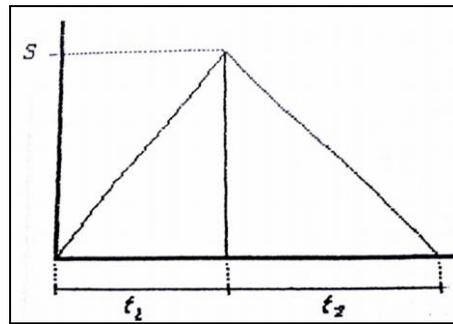
Fuente: Álvarez, 2007, pp. 2

2. Tamaño óptimo del lote, ciclo productivo sin faltantes

Muchos artículos se producen internamente, y no se compran a un proveedor externo. En este caso, la hipótesis de la cantidad económica de pedido de que cada pedido llega al mismo instante, parece que no es real. No es posible producir, por ejemplo, 10,000 vehículos a un chasquido de dedos. Si una empresa cumple con la demanda fabricando sus propios artículos de consumo, el modelo de cantidad económica con tasa constante será más real. (Wayne, 2010, pp.878)

Lo que implica la anterior definición es que se debe considerar el tiempo de producción y añadirse como variable al modelo para que el comportamiento vaya más acorde a la realidad en dado caso se produzca y se consuma.

Figura 13 Comportamiento del abastecimiento produciendo y sin permitir faltantes

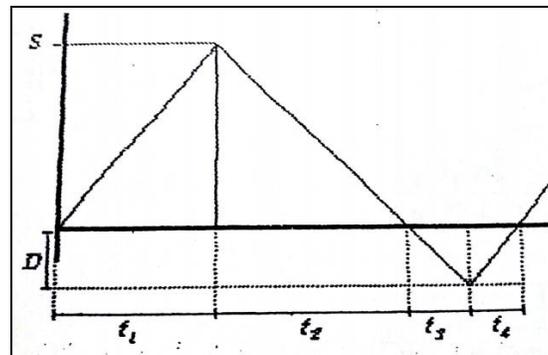


Fuente: Álvarez, 2007, pp. 2

3. Tamaño económico del lote, ciclo productivo con faltantes permitidos

La situación es exactamente igual a la anterior, con la diferencia de que ahora se permite la escasez en el inventario, los costos asociados están relacionados con el incumplimiento de la producción que recae en falta de inventario. Al igual que el caso en donde no se produce, el costo por faltante puede estar representado por clientes insatisfechos, pago de retribuciones, reprocesos, horas extra, etc.

Figura 14 Comportamiento del abastecimiento produciendo y permitiendo faltantes



Fuente: Álvarez, 2007, pp. 2

4. Tamaño óptimo del lote cuando se permiten descuentos por volumen

En la vida real, los proveedores reducen con frecuencia el precio unitario de compra cuando los pedidos son más grandes. A estas reducciones de precio se les llama con frecuencia “descuentos por volumen. Si un proveedor ofrece descuentos por volumen, el costo anual de compras dependerá también del tamaño de los pedidos. (Wayne, 2010, pp.878)

Lo que Wayne expresa en el párrafo anterior es que si existe un crédito o un descuento, mejor dicho, a favor de la compañía cuando se ordena una cantidad mayor de unidades, esta es otra variable a considerar dentro de los distintos modelos, esta situación presenta el siguiente algoritmo:

Tabla 3 Rangos de descuento por volumen

<p><i>Si $q < b_1$, cada artículo cuesta p_1 dólares.</i></p> <p><i>Si $b_1 \leq q < b_2$, cada artículo cuesta p_2 dólares.</i></p> <p><i>Si $b_{k-2} \leq q < b_{k-1}$, cada artículo cuesta p_{k-1} dólares.</i></p> <p><i>Si $b_{k-1} \leq q < b_k = \infty$, cada artículo cuesta p_k dólares.</i></p>

Fuente: Wayne, 2010, pp.873

F. La gestión de compras

La gestión de compras y abastecimiento representa la fase inicial del proceso del flujo de materiales requeridos por la empresa, con gran incidencia en los flujos de tesorería y de información

La función de compras en una organización, debe garantizar el abastecimiento sostenido de los materiales y productos necesarios, en las menores condiciones posibles de:

- Cantidad
- Calidad
- Oportunidad
- Precio

(Mendez, 2008, pp. 26)

La gestión de compras es un proceso fuertemente ligado a la Cadena de Suministros, definir dicha cadena es sencillo pues es un concepto integrador y se refiere a todos aquellos involucrados en el proceso de aprovisionamiento de un bien o servicio, ya sea personas, herramientas o entelequias como créditos, por ejemplo.

1. El proceso de aprovisionamiento de cauchos según el manual de procedimientos de la aerolínea.

El nivel de inventario de los cauchos almacenados en los talleres está a cargo del Departamento de Inventarios, del mismo modo, el stock también es monitoreado por los representantes de venta de ambos talleres.

Cuando el equipo de Inventarios “considera” que el stock se agotará “pronto”, se procede a generar una solicitud de compra en el sistema. Se han colocado estas palabras entre comillas, puesto el objetivo de este estudio es cambiarlas por indicadores concretos y puntos discriminantes que sirvan como gatillo del aprovisionamiento.

El sistema que se utiliza es especialmente diseñado para la aviación, su nombre es Ramco y fue desarrollado por programadores indios, Inventarios ingresa la solicitud de compra, dado que estas requisiciones son urgentes, notifica al Departamento de Compras mediante un correo electrónico, hasta este punto, el procedimiento lleva aproximadamente dos días.

Compras notifica a Michelin de la requisición quien informa a compras de la disponibilidad de stock para la venta, tiempo líder y del precio asignado en el momento (este está sujeto a las condiciones económicas de Estados Unidos y factores como la inflación, etc). Michelin tarda aproximadamente dos días en proporcionar una respuesta al Departamento de Compras. Al obtener el precio por parte de Michelin, Compras genera una Orden de Compra (PO) en el sistema Ramco y solicita autorización a la Gerencia o Dirección de Materiales, todo esto depende del monto de la PO, pues arriba de \$5,000.00 la PO sube hasta la dirección, entre la creación de la orden se calcula un tiempo de dos días.

De este punto en adelante entra el tiempo líder previamente descrito por Michelin, luego de este tiempo, dicho proveedor entrega los productos a un centro de logística ubicado en Miami, el Miami Logistic Center, o MLC, quienes tienen la tarea de distribuir los cauchos al taller de El Salvador y de Miami. Este último procedimiento puede llegar a durar una semana.

Los talleres, al recibir los cauchos, escanean sus certificados y los envían al Departamento de Compras quienes revisan la información y la pasan a Inventarios, este último departamento se encarga de la recepción y cierre de la Orden de Compra con el visto bueno y la inspección de cada taller finalizando así el proceso de aprovisionamiento.

III. JUSTIFICACIÓN

La expeditación de órdenes de reparación de llantas principales y de nariz es crítica para la operación, de hecho, el nombre que se le da a esta familia de componentes es “Componentes críticos”. El manual de mantenimiento manda a cambiar el caucho ante determinado nivel de desgaste o ante el reporte de algún desbalance reportado por el Capitán.

Si se reportan llantas desgastadas o desbalanceadas y no hay stock en las estaciones, mantenimiento dejará la aeronave en tierra. La Gerencia de Operaciones deberá buscar formas en que otro avión cubra la ruta. Esto causa retrasos en los vuelos afectando el OTP, Desempeño de Llegadas a Tiempo, (*On Time Performance*) de la aerolínea, si no se logra cubrir la ruta y se cancela el vuelo, las repercusiones serían mayores, pues se incumpliría con los clientes y surge también la posibilidad de que la aerolínea se vea obligada a pagar hotel y comida para los pasajeros afectados.

Esta investigación proporcionó una directriz para establecer la cantidad de cauchos a pedir, así como la cantidad óptima de pedidos por año. De esta forma se beneficiará a los talleres, pues tendrán una programación de recibo de hules sin tener que estarla solicitando a la aerolínea. También se beneficiará al fabricante de estos cauchos, Michellin, pues ellos tendrán las fechas de pedido que servirán como referencia para su fecha límite y les permitirá coordinar su producción. El mayor beneficiado será la aerolínea pues reduce la probabilidad de escasez de caucho en los talleres, reducirá el tiempo de vuelta de las órdenes de reparación de llantas de tren principal y de nariz.

Al tener un menor tiempo de vuelta, se tendrá inventario en tiempo óptimo, lo cual prevendrá el gasto de envío entre estaciones entre Guatemala y Honduras para cubrir sus necesidades de material mutuamente, como también la reducción de tiempo invertido por el personal para acelerar todo el flujo de trabajo logístico, tanto desde Miami como entre las estaciones de Guatemala y Honduras.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

- Aplicar un modelo de gestión de inventarios para la optimización del abastecimiento de cauchos de llantas principales y de nariz de la flota de aviones ATR42-300 para talleres al servicio de una aerolínea con base administrativa en Guatemala.

Objetivos Específicos

- Determinar el costo de colocar y expedir una orden de compra para cauchos de llantas principales y de nariz.
- Calcular el inventario óptimo para incurrir en el costo mínimo, tanto de almacenaje como de orden para cauchos de llanta principal y de nariz.
- Determinar el punto de reorden en el cual se deberá efectuar un nuevo pedido a través de una orden de compra para cauchos de llanta principal y de nariz.
- Hallar el número óptimo de pedidos anuales de cauchos de llantas principales y de nariz a colocar para mantener la operación en óptimas condiciones.

VI. METODOLOGÍA

A. Tipo de estudio

Este estudio es de tipo descriptivo para lo cual se utilizó apoyo de fuentes de información secundaria para el soporte investigativo del proyecto. Los datos técnicos sobre la aeronave, objetivos de uso, dimensiones de los cauchos, correcto almacenaje, etc, fueron obtenidos en línea a través de la página de los fabricantes. Las variables que relaciona el estudio son la cantidad de cauchos a pedir y el Costo Total.

B. Población

El estudio fue dirigido específicamente para el consumo de cauchos, la medición estuvo en función de las remociones de llantas principales y de nariz sobre cuyo aro necesitaba reemplazo del hule.

1. Muestra

La muestra extraída para el presente estudio fueron las remociones de ruedas (que conllevan a demanda de cauchos) que tuvieron lugar durante el año 2012 para aquellos talleres que hacen uso de los hules adquiridos por la aerolínea. Se obtuvo una demanda total de 130 llantas principales y 118 llantas de nariz.

C. Variables

Las variables principales para este estudio fueron:

El Costo Total es la variable dependiente del estudio y representa la función que se desea minimizar. La variable independiente es la cantidad de cauchos a pedir (Q) la cual obtuvo los valores de la cantidad óptima (Q^*) y de la cantidad de cauchos a utilizar (Q_2).

Luego se tienen las variables cuyo valor fue deducido durante el estudio, estas variables son independientes y se definen de la siguiente forma:

a:	Demanda anual de unidades
K:	El costo de ordenar
c:	Precio o costo de comprar
h:	Costo de almacenaje

D. Métodos y técnicas de recolección de datos

El método que se utilizó es de tipo hipotético-deductivo pues se tomaron las observaciones de la demanda del año anterior para formular la hipótesis a través de la teoría del modelo EOQ.

La fuente de información secundaria consistió en los estudios realizados sobre la gestión de inventarios. Consulta de fuentes bibliográficas variadas, se hizo bastante énfasis en las consultas en libros de texto relacionados a cadenas de suministro y tesis que tratan sobre el tema.

Siguiendo en la línea de las fuentes secundarias, se consultaron manuales de procedimientos de la aerolínea y presentaciones informativas generales para todos los colaboradores.

Gracias a lo anterior, fue posible obtener un costo de almacenamiento estimado por metro cuadrado. Se utilizó una media aritmética ponderada para definir el sesgo de preferencia hacia el taller de Miami sobre El Salvador.

Se hizo uso del sistema de Sinergia, este programa especial está diseñado para reportar las transacciones detalladamente en el sistema operativo de gestión.

Además, se tuvo acceso a los reportes de rotación de llantas tanto de nariz como principales para poder determinar una demanda calculada anualmente. De este cálculo se depuraron aquellas órdenes o proporción de órdenes, más bien dicho, que no incluyen un caucho adjunto como parte de la reparación, el mayor discriminante es el taller de destino, es decir, la exclusión de órdenes con el taller que suministra también el caucho. Se elaboraron filtros y tablas dinámicas en Microsoft Excel para obtener dichos datos sobre la demanda.

Se entrevistó al Jefe de Compras Técnicas y a la coordinadora de logística, personas estrechamente ligadas al proceso de abastecimiento de cauchos.

La primera entrevista fue al Jefe de Compras Técnicas para Centroamérica, se le preguntó sobre el tamaño del lote que se maneja, el cual está en función de la disposición de erogación de la empresa al momento de colocar las PO's (órdenes de compra) así como el costo de cada unidad para referencia. La entrevista está disponible en la página (iii) de la sección de Anexos.

La coordinadora de logística juega un papel muy importante en el desenvolvimiento de este proceso, se le preguntó sobre la gestión del envío y recepción de cauchos, así como el tema de aranceles e impuestos para obtener el costo de ordenar. Ver entrevista en la página (iv) de la sección de Anexos.

E. Métodos de análisis de datos

Técnicas de derivación para el respaldo matemático del modelo EOQ y la optimización del mismo utilizando tasas relacionadas. La columna vertebral del estudio pasó por la aplicación del modelo EOQ (Economic Order Quantity o Cantidad Económica de Orden). Este modelo desplegó la información básica que permitió alcanzar los objetivos trazados. Las variables de entrada para esta modelo fueron proporcionadas por las fuentes secundarias de información descritas anteriormente.

VII. RESULTADOS

A. Rotación de llantas principales

Se consultó el historial de órdenes generadas en el año 2012. Es bastante importante resaltar que en diciembre de ese año se inició a trabajar con el taller Meridian Aerospace ubicado en Miami, antes de eso únicamente se tenían únicamente dos talleres para ruedas: Aviatechnology en El Salvador y Aviation Brake en Miami.

La rotación de ruedas para el año 2012 expresada en órdenes generadas es la siguiente:

Tabla 4 Órdenes de llantas generadas en 2012

Cantidad de órdenes	Llantas principales	Llantas de nariz
Meridian Aerospace	1	1
Aviation Brake Services (No requiere caucho)	50	47
Aviatechnology, S.A.	79	70
TOTAL GENERAL	130	118

Fuente: Base de datos de órdenes de reparación de la aerolínea

B. Obtención de la demanda (a)

Para calcular la demanda anual se tomó como base la rotación obtenida en 2012, pero con ligeros cambios. El cambio principal es que por decisión de la Gerencia de Reparaciones, Aviatechnology recibirá menos órdenes en relación a los otros dos talleres, esto se debe a cierto incumplimiento en el tiempo de reparación y entrega.

Se hizo un periodo de prueba para dicho taller en dónde se verificaron los compromisos que adquirieron para bajar el tiempo de vuelta de las unidades.

Bajo esta decisión de la gerencia se hizo un reacomodo de las órdenes en dónde el 85% de las órdenes se proyecta que irán a Meridian y el 15% a Aviatechnology, antes recibían el 60% de las transacciones. Para no afectar el consumo que se venía trabajando con Michelin se hizo un reacomodo en dónde el 45% que no recibirá Aviatechnology se enviará a Meridian, bajo este reacomodo el consumo de cauchos se proyectó igual, lo único que varió fue la cantidad a enviar a cada taller lo cual no afectó este estudio. La nueva distribución fue la siguiente:

Tabla 5 Proyección de demanda anual de ruedas principales y de nariz

TALLER	% de órdenes	Proyección Llantas principales	Proyección Llantas de nariz
MERIDIAN AEROSPACE	45%	58	53
AVIATION BRAKE SERVICES (No requiere caucho)	40%	52	47
AVIOTECHNOLOGY S.A	15%	20	18
Total general	100%	130	118

Fuente: Elaboración propia

“a” se convirtió en la suma de las órdenes proyectadas hacia Meridian y hacia Aviatechnology, es decir 78 unidades para llantas principales y 71 unidades para llantas de nariz.

C. Inventario de abastecimiento (Q)

Para la obtención de este dato se entrevistó al encargado de Compras Técnicas para las aerolíneas regionales en Centroamérica. Concluyó que en general no se es un cliente mayor de Michelin y que el espacio de producción que se le da a las llantas de ATR42-300 es limitado por lo que el fabricante sugiere que los pedidos sean periódicos y optimizados.

Esto permite no se pida muy poco como para tener que hacer otro pedido muy cercano ni que se incurra en una sobreproducción que posiblemente Michelin no pueda cumplir.

Se ha trabajado con un pedido de **15 cauchos por tipo de llanta en cada pedido** lo cual reflejaría el primer “Q” en el ejercicio el cual no está optimizado. Aunque se tiene inventario y se reduce la cantidad de pedidos al año, a veces Michelin presenta fechas de entrega bastante lejanas debido a la cantidad de cauchos en relación a la capacidad de su producción.

Bajo esta “Q” empírica se obtuvo la cantidad de pedidos a realizar por año de la siguiente forma:

$$\text{Cantidad de pedidos} = \frac{Q}{a}$$

$$\text{Cantidad de pedidos Llantas Principales} = \frac{78}{15} = 5.2 \approx 5 \frac{\text{pedidos}}{\text{año}}$$

$$\text{Cantidad de pedidos Llantas de nariz} = \frac{71}{15} = 4.73 \approx 5 \frac{\text{pedidos}}{\text{año}}$$

D. Costo de ordenar un lote (K):

La obtención de este costo requirió de la experiencia del Jefe de Compras Técnicas para Centroamérica y de la Coordinadora de logística, pues los costos van relacionados con el seguimiento al pedido, transportes y aduanas. Se inició por el cálculo del costo de Hora-Hombre invertido:

$$\text{Sueldo Mensual Comprador} = \frac{Q8,700.00}{\text{mes}} * \frac{1\text{mes}}{20\text{días hábiles}} * \frac{1\text{día hábil}}{8\text{horas}} = \frac{Q54.38}{\text{hora}}$$

La inversión del tiempo del comprador incluye la generación de la PR por parte de inventarios, el tiempo de cotizar, el tiempo de colocación de la Orden de Compra, solicitud de autorización, impresión de Orden de Compra, envío de dicha orden y aproximadamente dos llamadas de seguimiento. Juntado todo el tiempo efectivo invertido se concluyó que el comprador invierte aproximadamente 2 horas y media. Con este dato se calculó el costo de Hora-Hombre Total:

$$\frac{Q54.38}{hora} * 2.5 \text{ horas} = Q135.95$$

Este monto convertido a dólares con una tasa de Q7.93 por dólar es \$17.14

El siguiente costo relacionado es el costo de transportar el pedido considera el movimiento aéreo y terrestre de la carga. En cuanto al transporte aéreo aplica únicamente para El Salvador, dicho sea de paso no se pagan impuestos de aduana en este país ya que se moviliza dentro de una zona franca, adicional, se hace uso de un pacto denominado “beneficio interlínea” el cual otorga precios especiales para los servicios entre aerolíneas, en esta situación se trabaja con UPS y la tarifa especial que se otorga a la aerolínea es de \$1.70/Kg.

Esto significa que el transporte aéreo depende estrictamente del peso, es decir depende de las unidades a ordenar, por lo que se tomó como variable del precio; no así el transporte terrestre sobre el cual se cobra por viaje y no por peso.

El único costo fijo asociado con el transporte aéreo es la tarifa administrativa por el corte de la guía, aunque varía en cada aerolínea, se puede redondear en \$50.00 dicha tarifa. Generalmente se trata la manera en que quede una sola guía por pedido, es decir, un pedido es igual a una guía aérea.

El transporte terrestre si aplica para Miami y también para El Salvador. En Miami se utiliza una empresa llamada Alpha Brokers quienes cobran aproximadamente \$70 por guía (si existen bultos con tamaño excesivo se cobra más), la tarifa es relativamente corta gracias a la cercanía entre Michelin, el centro de logística en Miami y Meridian Aerospace, para este caso se consideró un viaje desde Michelin hacia el MLC (\$70), luego se hizo la distribución entre Meridian (otros \$70) y El Salvador. Respecto a El Salvador el costo de transporte desde el aeropuerto hasta La Libertad, El Salvador es de aproximadamente \$100.00 por guía o por pedido. En la siguiente tabla se muestra el resumen del costo de ordenar:

Tabla 6 Total del costo de ordenar

Tipo de costo	Monto
Hora-Hombre Total	\$17.14
Transporte Áereo	\$50.00
Transporte Terrestre	\$240.00
TOTAL	\$307.14

Fuente: Elaboración propia.

E. El costo de mantener el inventario por unidad (h)

El costo de mantener el inventario varió de acuerdo a las condiciones económicas del país de almacenaje, en este caso se tuvieron dos países involucrados, Estados Unidos (Miami) y El Salvador.

Otro factor de dependencia del costo de mantener el inventario son las condiciones sobre las cuales se mantienen los cauchos, por ejemplo, el costo de mantener determinada temperatura (aire acondicionado, ventilación, iluminación, etc).

A parte de estas condiciones físicas se consideró otro factor que es el costo del espacio persé el cual está determinado por algún alquiler, o costo de oportunidad para almacenar algo más. A este costo del espacio se le debió incluir también el sueldo de los almacenistas, policías y todo personal encargado del resguardo del inventario.

El precio de mantener el inventario está dado en dinero por unidad de volumen. En otras palabras lo que se hizo fue obtener los costos totales y luego dividirlo entre la cantidad de volumen disponible para obtener el costo por metro cuadrado. El sólo cálculo de este costo corresponde a todo un estudio aparte, sin embargo, este estudio ya fue realizado en las estaciones de la aerolínea y presentado a los trabajadores, el costo de almacenaje por unidad se proporciona en la siguiente tabla de costos anuales.

Tabla 7 Costo anual de almacenaje por metro cuadrado.

Estación	\$/m ²
Miami	\$50.33
El Salvador	\$10.13

Fuente: Entrevista con Jefe de Compras Técnicas CAM

Se calculó una media aritmética ponderada con base al porcentaje de distribución de cauchos hacia los talleres para así obtener un promedio correctamente ponderado del costo de almacenaje anual por unidad. De la Tabla 7 se obtuvo la cantidad de envíos a Meridian Aerospace en un 45% de las órdenes mientras que a Aviotechnology un 15%, entre ambos talleres suman el 60% de las órdenes.

Entonces, 45 fue el 75% del 60 total y 15 fue del 25%. La diferencia entre ambos porcentajes es del 50% por lo que esta fue la ponderación extra que llevaría Miami en relación a El Salvador para el cálculo de la media aritmética ponderada la cual se calculó de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{(\$50.33)(1.5) + (\$10.33)}{2} = \frac{\$42.91}{m^2}$$

Este costo es anual por metro cuadrado por lo que hizo falta transformar los metros cuadrados en unidades, de la figura 8 se obtuvo la forma correcta de almacenaje en estanterías, así es que para calcular este costo se utilizó como base el área de los estantes.

Estos estantes ocupan un área rectangular aproximada de 2×1.5 m lo que equivale a 3m^2 . El anterior área es constante para todo el cuerpo, aun así se necesitó el espacio por unidad, suponiendo que a cada estante le caben 16 cauchos, se dividieron los 3m^2 entre 16 unidades para obtener la cantidad de metros cuadrados ocupada por cada llanta en resguardo:

$$\frac{3\text{m}^2}{16\text{unidades}} = \frac{0.19\text{m}^2}{\text{Unidad}}$$

Luego se calculó el costo anual por unidad:

$$\frac{\$42.91}{\text{m}^2} * \frac{0.19\text{m}^2}{\text{unidad}} = \frac{\$8.15}{\text{unidad}}$$

El resultado es un costo anual de \$8.15 por unidad.

F. El modelo EOQ

Tabulación de datos de entrada para llantas de nariz:

Tabla 8 Tabulación de datos de entrada del modelo para llantas principales

Para llantas principales		
Rubro	Literal	Valor
Demanda de unidades anuales	a	78 unidades
Inventario de abastecimiento	Q	15 unidades
Costo de ordenar	K	\$1136.44
Costo de comprar	c	\$896.00
Costo de almacenaje	h	\$8.15 unidad por año

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el Costo Total por unidad de tiempo, es decir el Costo Total anual para el inventario de abastecimiento actual, en otras palabras un “Q” no óptimo:

$$\text{Costo por ciclo} = K + cQ$$

$$\text{Costo mantener inventario} = \frac{hQ^2}{2a}$$

$$\text{Costo total por ciclo} = K + cQ + \frac{hQ^2}{2a}$$

Entonces :

$$\text{Costo Total por unidad de tiempo} = \frac{K + cQ + \frac{hQ^2}{2a}}{Q/a}$$

Simplificando,

$$T = \text{Costo Total por unidad de tiempo} = \frac{aK}{Q} + ac + \frac{hQ}{2}$$

$$T = \text{Costo Total por unidad de tiempo} = \frac{(78)(1136.44)}{15} + 78(896) + \frac{8.15(15)}{2}$$

$$\text{Costo Total por año} == \$75,858.61$$

Al derivar la función anterior respecto a la variable Q, luego igualando a 0, se obtuvo la Q*:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K}{h}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(1136.44)}{8.15}}$$

$$Q^* = 16.70 \text{ unidades} \approx 17 \text{ unidades}$$

Se halló el tiempo de ciclo:

$$t^* = \frac{Q^*}{a} = \frac{17}{78} = 0.22 \frac{\text{años}}{\text{pedido}}$$

$$t^* = 0.21 \frac{\text{años}}{\text{pedido}} = 2.64 \text{ meses}$$

Se calculó el Costo Total con Q*

$$\text{Costo Total por año} = \frac{(78)(1136.44)}{17} + 78(896) + \frac{8.15(17)}{2}$$

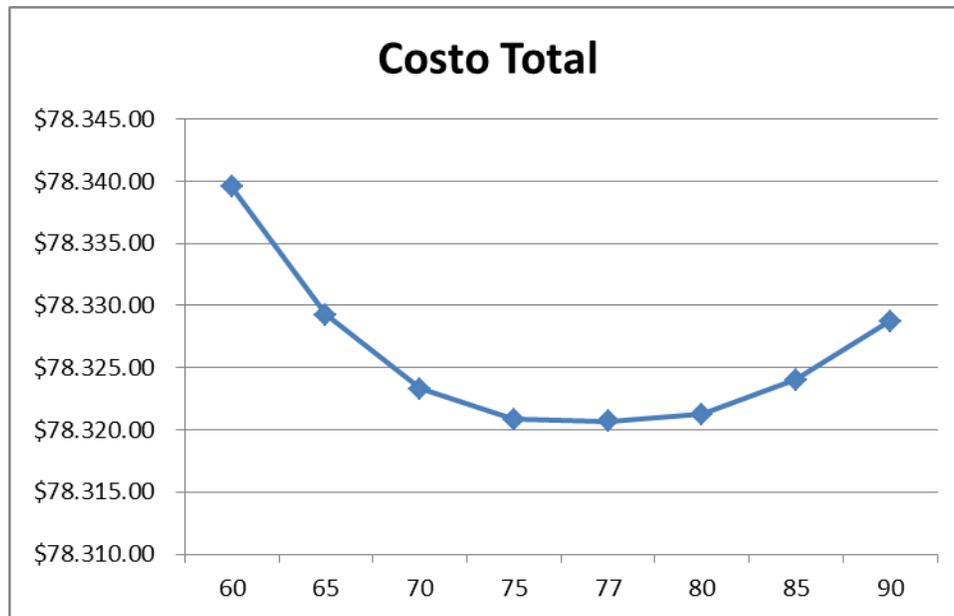
$$\text{Costo Total} == \$75,171.53$$

Tabla 9 Evaluación de “Q” para función Costo Total para llantas principales

Q	Costo Total
60	\$ 78,339.58
65	\$ 78,329.24
70	\$ 78,323.29
75	\$ 78,320.85
77	\$ 78,320.70
80	\$ 78,321.26
85	\$ 78,324.02
90	\$ 78,328.74
95	\$ 78,335.10

Fuente: Elaboración Propia

Figura 15 Gráfico de la función Costo Total en función de Q para llantas principales.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Tabulación de datos de entrada del modelo para llantas de nariz

Para llantas de nariz		
Rubro	Literal	Valor
Demanda de unidades anuales	a	71 unidades
Inventario de abastecimiento	Q	15 unidades
Costo de ordenar	K	\$1136.44
Costo de comprar	c	\$446.00
Costo de almacenaje	h	\$8.15 unidad por año

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Costo Total por año} = \frac{(71 \text{ unidades})(\$1136.44)}{15} + (71 \text{ unidades})(\$446) + \frac{(\$8.15)(15)}{2}$$

$$\text{Costo Total por año} = \$37,106.27$$

Se calculó a continuación el Q^* o la cantidad de pedido óptima para las llantas de nariz:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K}{h}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(1136.44)}{8.15}}$$

$$Q^* = 16.70 \text{ unidades} \approx 17 \text{ unidades}$$

Con esta cantidad óptima se obtuvo el tiempo de ciclo:

$$t^* = \frac{Q^*}{a} = \frac{17}{71} = 0.24 \frac{\text{años}}{\text{pedido}}$$

$$t^* = 0.24 \frac{\text{años}}{\text{pedido}} = 2.88 \text{ meses}$$

Se calculó el costo total anual con Q^* para llantas de nariz

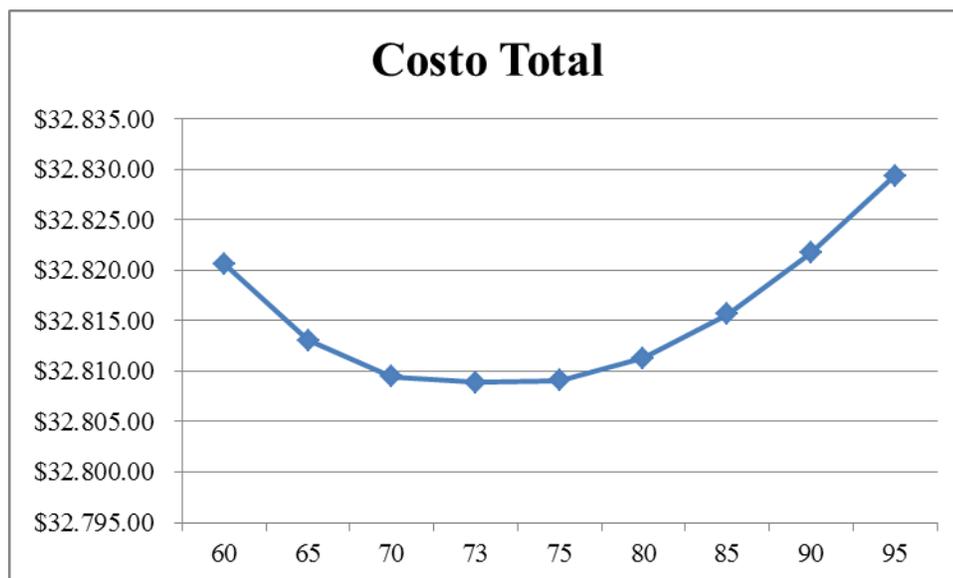
$$\text{Costo Total por año} = \frac{(17 \text{ unidades})(\$1136.44)}{17} + (17 \text{ unidades})(\$446) + \frac{(\$8.15)(17 \text{ unidades})}{2}$$

$$\text{Costo Total por año} = \$36,481.58$$

Tabla 11 Evaluación de “Q” para función Costo Total para llantas de nariz

Q	Costo Total
60	\$ 32,820.65
65	\$ 32,813.07
70	\$ 32,809.48
73	\$ 32,808.90
75	\$ 32,809.08
80	\$ 32,811.29
85	\$ 32,815.63
90	\$ 32,821.75
95	\$ 32,829.37

Fuente: Elaboración Propia

Figura 16 Gráfico de la función Costo Total en función de Q para llantas de nariz.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra la evaluación de la función Costo Total en relación de las diferentes “Q” utilizadas:

Tabla 12 Cuadro comparativo de Costos Totales por cada “Q” para llantas principales

Costo Total	Q = 15 Unidades	Q* = 77 unidades	Q2 = 32 unidades
Costo	\$79,354.05	\$78,320.70	\$78,574.85
Diferencia en relación a Q	\$0	\$1,033.35	\$779.20
% de Ahorro en relación a Q	0%	1.30%	0.98%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Cuadro comparativo de Costos Totales por cada “Q” para llantas de nariz

Costo Total	Q = 15 Unidades	Q* = 73 unidades	Q2 = 32 unidades
Costo	\$33,727.62	\$32,808.90	\$33,024.57
Diferencia en relación a Q	\$0	\$918.72	\$703.05
% de Ahorro en relación a Q	0%	2.72%	2.08%

Fuente: Elaboración propia

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Demanda de unidades (a)

Vale la pena mencionar que la demanda utilizada para este modelo es una proyección basada en una decisión por parte de la Gerencia de Reparaciones en donde se distribuye la mayor carga de trabajo a los talleres de Meridian Aerospace y Aviation Brake Services quedando menor carga a Aviotechnology. Esto obedece algunos problemas que se han tenido con el cumplimiento del tiempo estipulado para cada reparación. De acuerdo a esta decisión, se acordó que se enviaría la mayoría de órdenes a Meridian Aerospace, y el segundo en prioridad sería Aviotechnology.

B. Inventario de abastecimiento (Q)

El inventario de abastecimiento no óptimo, “Q” es el número que se obtuvo empíricamente con base en observaciones realizadas por el departamento de reparaciones en relación a la cantidad de remociones de llantas que se realizan durante el mes, además, se debía obtener un número que coincidiera o al menos fuera acorde a la producción de Michelin.

C. Costo de ordenar (K)

El costo de ordenar abarca toda la parte administrativa y logística. Es una cantidad considerable y restringe la posibilidad de hacer pedidos “por pocos”, aunque esta no sería una alternativa por el desgaste administrativo que implica el seguimiento a los cauchos. Se realizó un análisis integral, pues hay otras empresas involucradas como UPS, las empresas de transporte terrestre en El Salvador y Miami, el corte de las guías y la inversión del tiempo de los analistas. La principal observación radica en que este costo es mucho mayor en relación al costo de almacenaje, es por eso que el modelo al final se inclina por hacer la menor cantidad de pedidos posibles.

D. Costo de comprar (c)

Ninguno de los cálculos necesarios para este estudio dependió de este dato a excepción de los costos totales, sin embargo, al multiplicarse por la demanda que también es constante, todo el término permaneció invariable y al momento de derivar desapareció de la ecuación, sin embargo es una buena toma de referencia para hacer la relación de costos de abastecimiento versus el precio del producto.

E. Costo de almacenaje (h)

Quizá el más complejo de todos los costos involucrados, este costo de almacenaje es la contraparte o el limitante del costo de ordenar “K”. El costo de almacenaje limita que se ordene en exceso para evitar hacer pedidos en el futuro. Precisamente en los ejercicios de cálculos que se realizaron sobre el modelo EOQ, nunca existió una justificación de la naturaleza del número allí reflejado en cuanto al almacenaje.

El costo (K) dependió de demasiados factores tanto micro como macro económicos, por ejemplo, el salario de los almacenistas, costos de alquiler, electricidad, seguridad, iluminación, etc; además varían de acuerdo a cada país.

Convenientemente se tuvo un taller recientemente en dónde se dieron a conocer estos costos de almacenaje, el resultado se dio en dólares por metro cuadrado al año; sin embargo, esto aún no se ingresó al modelo, pues se necesitó el costo por unidad y no por metro cuadrado, esto implica que se tuvo que hacer un cálculo adicional, se debió multiplicar por un factor que relacionara los metros cuadrados con unidades. Este factor fue la cantidad de hules que caben en un metro cuadrado y esto multiplicarlo por el inventario promedio, es decir $Q/2$.

A pesar de todos los cálculos que se pudieron haber hecho, al final, se demostró que la cantidad a ordenar dependió directamente de la capacidad de almacenaje en la bodega de cada taller. Habiendo resuelto este factor ya solo quedaba el problema de decidir entre el costo de almacenaje de El Salvador o el costo de almacenaje de Miami, no hubiese sido correcto hacer un promedio del costo de Miami con el costo de El Salvador, pues las distribuciones no están equitativas, lo más lógico fue hacer una diferencia porcentual con base a la proporción sugerida por la Gerencia de Reparaciones.

F. Obtención de la cantidad óptima a pedir (Q^*)

Luego de derivar la función de la cantidad a pedir, igualar a cero y despejar, se obtiene la ecuación para la obtención de la cantidad óptima a pedir. Se interpreta como el perfecto equilibrio entre los diferentes costos para reducir el Costo Total,

Lo que el estudio reflejó es que es más económico hacer un solo pedido anual antes que seccionarlo en varios distribuidos en el tiempo. La función Costo Total es mínima con un $Q= 77$ unidades, el mismo comportamiento se refleja para las llantas de nariz, esto supone que la aplicación del modelo fue matemáticamente correcta. El parámetro que determina una cantidad óptima a pedir tan grande radica en el costo de ordenar, \$307.14, se debe tomar en cuenta que la logística del envío es bastante compleja. Dicho costo de ordenar es significativamente más alto que el costo de almacenaje, \$8.15 por unidad al año. Es decir, entre la puja de costos se prefiere incurrir en bastante almacenaje antes de repetir la erogación en el precio por ordenar.

Si bien es cierto la cantidad óptima a pedir para llantas principales y de nariz es de 77 y 73 respectivamente, esto no significa que alcanzar la cifra sea posible. En la práctica existen tres factores no matemáticos que limitan este estudio, el primero y más importante es que los talleres cuentan con espacio limitado de estantes destinados a cada cliente, en este caso, se cuenta con dos estantes por tipo de llanta por taller con una capacidad de 32 cauchos para tren principal y 32 para tren de nariz.

El segundo parámetro es que se procura que cada Orden de Compra no llegue a tener montos demasiado altos para evitar que escale demasiado su nivel de autorización, es decir que llegue hasta el Vicepresidente cuando al final es un tema operativo. El tercer parámetro es que por exceso dimensiones en los envíos se requiere contratar un avión carguero o barco para el traslado desde Miami a El Salvador.

A pesar de que no es posible pedir la cantidad óptima, el valor de este estudio consistió en que fijó la meta y lo recomendable fue acercarse a esta lo más posible, para este caso en especial consistió en pedir la mayor cantidad de cauchos permisible por pedido para optimizar los costos.

G. El tiempo de ciclo

Con una cantidad óptima a pedir (Q^*), es decir, 77 cauchos de llantas principales, y 73 de llantas de nariz, el tiempo de ciclo es sumamente sencillo pues el estudio reflejó que lo mejor es hacer un único pedido al año puesto que la relación entre el costo de ordenar y el de almacenaje tiene un gran balance a favor del costo de ordenar. En la práctica se utilizaría la cantidad (Q_2), representada por 32 unidades por cada tipo de llanta, los cinco meses que se obtuvieron con esta cantidad (Q_2) sugieren tres órdenes al año para llantas principales, y 2 órdenes para llantas de nariz, con este inventario se aprovecharía la capacidad máxima de almacenaje.

H. El costo total por año

Los porcentajes parecen de ahorro parecen ser pequeños, pero al interpretarlo en términos monetarios se observa que es posible un ahorro de aproximadamente mil quinientos dólares. Vale la pena mencionar que este ahorro está en función del aprovechamiento máximo de los pedidos y no por una reducción de costos externa a la empresa, esto refleja un buen manejo de los recursos internos y una forma inteligente de llevar el abastecimiento técnico.

IX. CONCLUSIONES

- Se aplicó el modelo de la Cantidad Económica a Ordenar, o EOQ por sus siglas en inglés (Economic Order Quantity), este considera todas las variables necesarias para la optimización del abastecimiento técnico de los cauchos para llantas principales y las llantas de nariz.
- El costo de colocar y expeditar la orden de compra está dado por el costo denominado “K”, el total obtenido para estas actividades fue de \$307.14 por pedido.
- El inventario óptimo para incurrir en el costo mínimo total (Q^*) para este caso fue de 77 unidades por pedido para llantas principales y 73 para llantas de nariz para un ahorro total de \$1,952.07, por cuestiones de almacenamiento y autorización de erogaciones, en la práctica se utilizarán 32 unidades (Q_2) que representan un ahorro de \$1,482.25.
- El punto de reorden sobre el cual se deberá obtener un nuevo pedido es cada 11.76 meses para las llantas principales y 12.02 meses para las llantas de nariz, en otras palabras, un pedido al año. Dado que no es posible utilizar (Q^*) para el pedido, se calculó el tiempo de reorden para (Q_2) el cual es de un pedido cada 4.92 meses para llantas principales y 5.41 meses para llantas de nariz.
- El número de pedidos para una cantidad óptima a pedir es de 1 al año para cada tipo de llanta, en la práctica la cantidad de pedidos al año es de 2.43, un aproximado de 3 pedidos al año para llantas principales y de 2.22 o un aproximado de 2 pedidos al año para las llantas de nariz.

X. RECOMENDACIONES

- La práctica más acertada para la compra de los cauchos y de cualquier material en aviación es adquirir los productos directamente con el fabricante, de esta forma se asegura que lleven todas las certificaciones necesarias para que Control de Calidad los acepte, además no existe inflación de precios debido a la acción de un intermediario.
- Michelin generalmente trabaja con pedidos hechos por anticipado, para asegurar la cobertura de las necesidades de cauchos, lo mejor será presentar un plan de abastecimiento a inicios de año, las cifras que alimentan este plan se obtienen del modelo aplicado en este estudio, además se debe mantener una comunicación constante y eficiente con los representantes de venta de Michelin.
- Las ruedas de las aeronaves se cambian según su condición, esto provoca que los cambios de ruedas no sean cambios programados por lo que el estudio presentó estimados de lo que será la demanda con base al historial, es recomendable que se trabajen márgenes de seguridad si la demanda es demasiado irregular.
- Para realizar aproximaciones hacia enteros a partir de cantidades con decimales, la forma ideal de proceder es evaluar la función con los límites inferior y superior para verificar en qué punto el costo es menor y de allí obtener un criterio de decisión.
- Dado que el modelo utilizado incluye radicales cuadráticos y demás operaciones que despliegan bastantes decimales, es siempre aconsejable hacer la aproximación hasta el final. Es decir, alimentar las ecuaciones con la mayor cantidad de decimales y efectuar el redondeo hasta la presentación de resultados, esto permite que los cálculos sean más exactos.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ponencia publicada Álvarez, F., (2007) *Manejo de Inventarios*. En curso de Investigación de Operaciones II. Guatemala, Guatemala.

Ponencia publicada Álvarez, F., Hernández, E., y Cordero, L. (2007) *Formulario para Modelos de Inventarios*. En curso de Investigación de Operaciones II. Guatemala, Guatemala.

Batres Blanco, N.B. (2009) *Administración de la cadena de suministro de neumáticos de las empresas de transporte de Segmento Pesado*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Bieman, H., Bonini, C., y Hausman, W. (1999) *Análisis cuantitativo para los negocios* (9a ed.). Bogotá: McGraw Hill.

Calderón López, E.D. (2005) *Administración de inventarios y su resultado en las utilidades y el financiamiento, en una empresa mezcladora de fertilizantes durante los años 2002-2003*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Chase, R.B., Jacobs, R.F., y Aquilano, N.J. (2009). *Administración de operaciones : producción y cadena de suministros* (12a ed.). China: McGraw Hill.

Demand Media, Inc. (2013) The ATR ATR-42. Recuperado de <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=41>

Gould, C.P., Eppen, G.D., y Schmidt, C.P. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa* (5a ed.). México: Prentice Hall.

Hay, E.J. (1989). *Justo a Tiempo*. Colombia: Norma.

Hieller, F.S., y Lieberman, G.J. (2002). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (7a ed.). México: Mc Graw Hill,

Krajewsky, L.J., Ritzman, L.P., y Malhotra, M.K. (2008). *Administración de las Operaciones. Estrategia y Análisis* (8a ed.). México: Prentice Hall.

Mendez Cajas, P.C. (2008) *Análisis de la cadena de suministros y su integración estratégica mediante la gestión de inventarios de la Empresa Industrial Lácteos, S.A.* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Michelin Aircraft Tires (2013) Product Finder. Recuperado de <http://www.airmichelin.com/productfinder.aspx?id=214&airframer=ATR&model=ATR42>

Michelin Aircraft Tires. (2011) Michellin Aircraft Tire and Care Service Manual for Michelin Aircraft Tires and Tubes. Recuperado de http://www.desser.com/pdf/mich_careandservice.pdf

Muller, M. (2004). *Fundamentos de administración de inventarios*. Bogotá: Norma.

Palacios López, G.D. (2000) *Aplicación de modelos de inventarios para administrar la bodega de materiales y planeación del proceso de producción para aumentar la productividad en la empresa embotelladora El Manantial S.A. Huehuetenango.* . (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Prawda, J. (2004). *Métodos y modelos de investigación de operaciones*. México: Limusa,

- Rodríguez, .B.E. (2008) *Administración de inventarios de materia prima aplicando a una industria de alimentos balanceados para animales*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Rojas, M.D., Guisao, E.Y., y Cano, J.A. (2011). *Logística Integral*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Ponencia publicada Rousselin, M. (2012) *Introducción de Modelos de Inventarios*. En sesión de Maestría en Administración Industrial y empresas de Servicio. Guatemala, Guatemala.
- Sánchez Ramos, J. Modelos de Inventario. Recuperado 18 de Julio de 2013, de Pontificia Universidad católica de Valparaíso. Recuperado de: http://www.material_logistica.ucv.cl/en%20PDF/Introd_MODELOS%20DE%20INVENTRIO_2004.pdf
- Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones, una introducción* (7a ed.). México: Prentice Hall.
- Tobías Pivaral, M.D., (2012) *Administración y control de inventarios en una empresa importadora de bebidas*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Wayne, W.L. (2010). *Investigación de Operaciones. Aplicaciones y algoritmos*. (4a ed.). México: Grupo Iberoamericana.

XII. ANEXOS

Anexo 1

ÍNDICE DE ANEXOS

I.	INTRODUCCIÓN	ii
II.	ENTREVISTA A JEFE DE COMPRAS TÉCNICAS PARA CENTROAMÉRICA	iii
III.	ENTREVISTA A COORDINADORA DE LOGÍSTICA	v

I. INTRODUCCIÓN

Si bien es cierto hoy en día es posible hacer cualquier investigación y cotización a través de internet, es muy diferente basarse en teoría que en la experiencia de aplicar la teoría a la realidad. Para poder realizar un estudio con datos que reflejen un verdadero comportamiento es necesario tener contacto con las personas que ven la operación, los que viven el día a día de la gestión y tienen toda la experiencia sobre los diferentes temas y costos.

Se incluyeron en estos anexos entrevistas con personas claves para el abastecimiento de cauchos tanto de llanta principal, como de llanta de nariz. Estas dos personas son el Jefe de Compras Técnicas para Centroamérica quien tiene a su cargo el abastecimiento a través de órdenes de compra y la Coordinadora de Logística para Guatemala y Honduras quien tiene a su cargo el seguimiento del transporte del material, todo lo relacionado con embalaje, aduanas, impuestos, leyes, embarque, recibo, etc.

Estas personas son clave pues representan dos de los tres costos que conforman la función del Costo Total: el costo de ordenar en dónde ambos tienen incidencia, y el precio de adquisición que es controlado por Compras Técnicas. El otro costo relacionado es el de almacenaje, ese se obtuvo por investigación interna.

Las preguntas van dirigidas para obtener la información necesaria o al menos, obtener un punto de partida para el cálculo de los costos arriba descritos. La información obtenida fue bastante satisfactoria, se lograron disipar dudas en cuanto al procedimiento en sí y considerar aspectos previamente desconocidos como la cobertura de las zonas francas, por ejemplo.

Esto soporta la idea de que para poder conocer un proceso leerlo es lo de menos, lo más importante es hablar directamente con los encargados de las acciones o con la persona que domine cada área.

II. Entrevista a Jefe de Compras Técnicas para Centroamérica.

- ¿Cuánto es el sueldo mensual de un comprador técnico?

Un comprador técnico devenga aproximadamente Q8,700.00 al mes. También existe una bonificación extra global para la aerolínea, pero no es considerado como sueldo base, es un beneficio extra.

- En tiempo efecto, ¿Cuánto invierte un comprador aproximadamente para hacer un pedido de cauchos o hules para ATR?

Actualmente tenemos un contrato con Michelin por lo que el tiempo de cotización con los proveedores se reduce bastante, además colocar una PO (Purchase Order u Orden de compra) es relativamente fácil. La parte que requiere mayor inversión de tiempo es el seguimiento. En primer lugar está el seguimiento con el mensaje de autorización que se debe hacer a la gerencia, esto incluye tabular el precio y enviar mensaje de autorización para que al final esta PO quede autorizada. Esta parte llevara aproximadamente 1 hora.

La segunda parte del seguimiento consiste en el despacho, en este negocio no se puede decir algo una vez y asumir de que las personas lo van a hacer a la primera, entonces se debe seguir la pista de la orden hasta que la fábrica libere la carga y la envíe al MLC. Esta parte llevara aproximadamente otros 30 minutos.

Y la tercera parte es el seguimiento al cierre de la PO y el pago de la factura con finanzas, considerando que es un recibo remoto el que se debe hacer de los cauchos en sistema, esto lleva un poco más de tiempo de lo usual, más el envío de los certificados por parte del taller al momento de recibir, esto en conjunto llevara 1 hora aproximadamente.

Es decir, en toda la gestión un comprador se llevará aproximadamente dos horas y media.

- Hubo un taller hace poco en dónde se hizo una sensibilización sobre la importancia de la gestión de inventarios. En este taller, ¿se dio un costo aproximado para el almacenaje de piezas?

De hecho, sí, y era un estudio que no existía en la región de Centroamérica hasta ahora, es por eso que se nos impartió el taller y se sensibilizó a las áreas que conforman la cadena de suministros. Los costos varían de acuerdo a cada país y obedecen a muchos factores económicos como el sueldo de los almacenistas, el costo de la energía eléctrica, etc. Por ejemplo, en Miami el costo por metro cuadrado anual es de \$50.33 y para El Salvador es de \$10.33 dólares al año por metro cuadrado.

III. Entrevista a Coordinadora de Logística.

- ¿Cómo se realiza y cuál es el costo de transportar los hules, o cauchos desde la fábrica de Michelin al taller aeronáutico de Meridian Aerospace en Miami y al centro de logística?

Para el transporte terrestre hacia Meridian se utiliza una empresa llamada Alpha Brokers, ellos utilizan un camión y cobran una tarifa por guía o pedido. Si existe algún material que salga de las dimensiones comunes se cobra extra. El costo aproximado por guía es de \$70.00. La tarifa es bastante conveniente pues la distancia es corta tanto desde Michelin hacia MLC como MLC y Meridian Aerospace.

No se hace desde Michelin directamente hacia Meridian debido a que el centro de distribución MLC (Miami Logistic Center) da recibo en sistema, revisa y distribuye la carga. Entonces ordenar para Meridian tiene un costo de transporte terrestre de aproximadamente \$140.00.

- ¿En cuanto a costo del transporte aéreo desde MLC hacia El Salvador, cuál sería?

Como aerolínea se tienen ciertos beneficios producto de pactos entre el gremio de aerolíneas, estos pactos reciben el nombre de “Beneficios Interlínea” y consiste básicamente en que se otorgan precios especiales entre operadores, por ejemplo, la división de carga de la empresa le cobra un precio especial a otras aerolíneas y viceversa. Gracias a estos beneficios interlínea se obtiene una tarifa especial de \$1.70/Kg. A esto habría que añadirle el costo administrativo del corte de guía, este costo es de \$50.00..

- Respecto al pago arancelario y aduanas, ¿En qué costos se incurre?

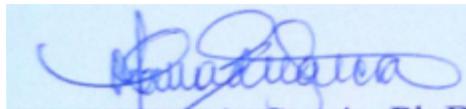
En ninguno, la zona cercana al aeropuerto es zona franca, adicional, los hules se transportan a La Libertad que es cerca del puerto en donde se ubica el taller, dicho taller también zona franca.

- Entonces únicamente queda el costo de transporte desde el Aeropuerto a “La Libertad” en dónde está el taller Aviatechnology, ¿Cuánto es el costo aproximado de este transporte?

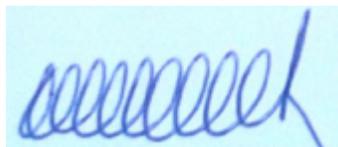
Por la distancia que se debe transportar y por la naturaleza y el precio del material que se traslada, en El Salvador cobran aproximadamente \$100.00 por pedido.



Allan Orlando Monterroso Escobar
AUTOR



Vivian Matta de García, Ph.D.
DIRECTORA



Oscar Manuel Cobar Pinto, Ph.D.
DECANO