

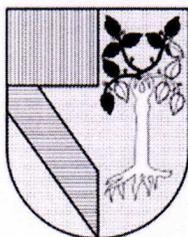
UNIVERSIDAD PANAMERICANA

“ ACOMODO ÓPTIMO DE PRODUCTOS EN EL ALMACÉN DE INDUSTRIAS QUÍMICAS DE OCCIDENTE”

MARÍA DOLORES LUQUÍN GARCÍA

Tesis presentada para optar por el Diploma de Maestría en Ingeniería
con Reconocimiento de Validez Oficial
de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 2006098 con fecha 28-II-06.

Zapopan, Jal., Junio del 2013



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Julio del 2013

DR. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE EXÁMENES DE GRADO
P R E S E N T E .

Me permito hacer de su conocimiento que **MARÍA DOLORES LUQUÍN GARCÍA**, de la Maestría en Ingeniería, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa Tesis, titulada:

“ACOMODO ÓPTIMO DE PRODUCTOS EN EL ALMACÉN DE INDUSTRIAS QUÍMICAS DE OCCIDENTE”

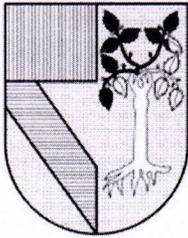
Manifiesto que, después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Omar Rojas', written in a cursive style.

DR. OMAR GUILLERMO ROJAS ALTAMIRANO
ASESOR DE TESIS



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO

SRITA. MARÍA DOLORES LUQUÍN GARCÍA

Presente.

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de **TESIS**, titulada:

"ACOMODO ÓPTIMO DE PRODUCTOS EN EL ALMACÉN DE INDUSTRIAS QUÍMICAS DE OCCIDENTE"

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado, por lo que deberá de entregar cinco ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, consisting of a long horizontal line that loops back and ends in a large, oval shape.

DR. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

DEDICATORIA

Primero que nada, a **Dios**, por ser el pilar que me mantuvo adelante a pesar de las dificultades.

A mi *mamá*, ya que fue ella quién sembró esa semillita de gusto por el estudio y el sueño de estudiar la maestría.

También a mi *papá*, quién es mi ejemplo a seguir.

De forma importante a *Julio*, quien además de ser mi novio, fue mi respaldo y apoyo en los momentos difíciles. Nunca dejó que el pesimismo me invadiera.

A mi *suegra y familia* política, porque su ánimo y porras me infundieron fuerza para continuar.

Especialmente a *Pelucas y Ruth*, por explicarme los temas matemáticos más complicados, recortando su tiempo de descanso.

A *Yareli y Norma*, porque al abrirme las puertas de su casa abatieron las dificultades del cambio.

También se la dedico a *Luis González Tapia*, amigo y compañero muy importante para la consecución de la tesis.

A mis amigos optimizadores; *Fernanda Arriaga, Alejandro Castañeda, Francisco Colín, Miguel Luquín y Gustavo Agüero*. Fueron mis guías y compañeros; ejemplos de estudio y dedicación.

Finalmente, se lo dedico mi asesor de Tesis, *Dr. Omar Rojas*, porque sin su amable guía y exigencia, no habría logrado terminar el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Una tesis nunca es trabajo de una sola persona, sino la mezcla de las aportaciones de aquellos que tocan el corazón y la mente de quién la escribe. La inversión de tiempo, dinero y esfuerzo requieren siempre de ayuda; y el reto que en mi caso implicó la maestría, estuvo respaldado por el apoyo de las personas más importantes de mi vida: mis padres, novio, amigos de todas las etapas de mi vida y los nuevos amigos que encontré en la maestría.

Les agradezco a todos ellos por todas las veces que me levantaron y animaron, cuando incluso, yo misma no creía poder hacerlo, confiaron en que era capaz de lograr este objetivo. Les doy también las gracias porque supieron entender que el tiempo que normalmente les dedicaba, estaba en ese momento enfocado en hacer tareas, juntarme en equipo y estudiar; nunca me lo recriminaron, sino al contrario, me invitaban a ser cada día mejor.

Un capítulo aparte son mis maestros. Ellos son el motor que impulsaron mi aprendizaje, pero más allá de eso, los guías que se transformaron muchas veces en amigos. Me encantó su claridad en el conocimiento que poseen y experiencia, ya que me brindaron la seguridad de que lo aprendido tiene aplicación en la problemática actual de las empresas.

Agradezco especialmente al Ing. Alejandro Romero, Director de Logística, porque sus acertados comentarios a este trabajo me permitieron pulir el contenido del mismo. Por último, y no menos importante, agradezco profundamente a las instituciones que me apoyaron económicamente para que pudiera realizar la maestría, como son el Instituto Jalisciense de la Juventud, la Universidad Panamericana, Industrias Químicas de Occidente y la SEP. Sin su colaboración, el sueño que albergaba desde niña de estudiar una maestría, no hubiera sido posible.

RESUMEN

El objetivo de la tesis es aplicar conocimientos multidisciplinarios de ingeniería para la resolución de los problemas más comunes de un almacén. Se pretende tener como alcance, la previsión de productos a almacenar en base a su impacto económico, el almacenamiento óptimo del mismo y las mejores posibles rutas de entrega al cliente final.

La aplicación de un modelo matemático, en específico un modelo de optimización, a una tarea rutinaria se puede reflejar en ahorro de espacio y, primordialmente, dinero. Asimismo, se pretende analizar las mejores prácticas que pueden intervenir en la operación de un almacén buscando obtener herramientas que permitan facilitar el análisis de la información generada diariamente en el almacén, a través de la aplicación de modelos de pronósticos a los datos históricos en el mismo.

En la parte final, se plasman las rutas actuales para la distribución de productos a los diferentes clientes de la empresa, dando, así, recomendaciones de una posible área de mejora.

ÍNDICE

Introducción	10
1. Antecedentes Teóricos	14
1.1 Definición de términos básicos	14
2. Modelo matemático de optimización	18
2.1 Modelo matemático acotado.....	18
2.2 Modelo completo	20
2.2.1 Variables de decisión	20
2.2.2 Criterio de Optimización	20
2.2.3 Función Objetivo	21
2.2.4 Análisis dimensional.....	21
2.2.5 Restricciones.....	21
2.2.6 Solución	23
2.2.7 Escenario 2	24
2.2.8 Solución Escenario 2.....	24
2.3 Conclusiones y Recomendaciones.....	25
2.3.1 Conclusiones.....	25
2.3.2 Recomendaciones.....	27
3. Inventario y pronósticos	29
3.1 Inventario.....	29
3.2 Pronósticos.....	33
3.2.1 Optimización de los parámetros de suavización	34
3.2.2 Pronóstico con parámetros óptimos	36
4. Rutas de distribución	43
4.1 Rutas.....	43
Conclusiones	47
Conclusiones.....	47
Bibliografía	48
Anexos	50
<i>Anexo 1</i> Tipo de Cambio	50
<i>Anexo 2</i> Tiendas de Industrias Químicas de Occidente.....	50

Índice de Tablas

Tabla 1: Distribución de producto de acuerdo a su presentación	10
Tabla 2: Ubicación de productos de medio litro por localización	18
Tabla 3: Segundo proceso de optimización	19
Tabla 4: Resultados Escenario 1	23
Tabla 5: Solución escenario 2	25
Tabla 6: Costos de almacén	25
Tabla 7: Comparativo de costos del escenario 1	26
Tabla 8: Comparativo de costos del escenario 2	26
Tabla 9: Parámetros de suavización óptimos	36
Tabla 10: Pronóstico para el producto L-31001	36
Tabla 11: Pronóstico para el producto S-17003	37
Tabla 12: Pronóstico para el producto G-31101	39
Tabla 13: Pronóstico para el producto E-67761	40
Tabla 14: Pronóstico para el producto E-68011	41
Tabla 15: Rutas de embarque	44
Tabla 16: Número de unidades de entrega	45
Tabla 17: Carga diaria de entrega	45

Índice de Figuras

Figura 1. Gráfico de la participación del ABC en SKU's, Litros y Unidades	31
Figura 2. Gráfico del pronóstico para el producto L-31001	37
Figura 3. Gráfico del pronóstico para el producto S-17003	38
Figura 4. Gráfico del pronóstico para el producto G-31101	39
Figura 5. Gráfico del pronóstico para el producto E-67761	40
Figura 6. Gráfico del pronóstico para el producto E-68011	41

Introducción

En esta sección, se hablará acerca de la empresa para la cual se obtuvieron los datos a analizar. Se hablará tanto de sus datos relevantes, como lo que se buscó realizar para la empresa.

Planteamiento del problema de investigación.

La empresa en la que se realizó el análisis es Industrias Químicas de Occidente, la cual se dedica a la fabricación y distribución de pinturas. En Industrias Químicas de Occidente se fabrican 2,400 productos y existen registros de 13,500 *stock keeping unit* (SKU's). De los SKU's totales, sólo 3,465 tienen movimiento frecuente y el área de Almacén y Logística los clasifica según el método ABC como AA, A, B o C. Los productos normalmente están envasados en cajas de cartón. Las presentaciones de cubetas, tambores y tote-bin no requieren caja.

Las tarimas (o localizaciones) pueden tener distintas cantidades de producto de acuerdo al SKU que contenga y pueden albergar desde 1 hasta 162 SKU's distintos, aunque en la realidad el rango va de 1 a 62 SKU's posibles por tarima, de acuerdo al último inventario general (diciembre 2011) realizado en las instalaciones de la empresa.

Las tarimas totales del almacén son 1,853, de las cuales 970 corresponden a los niveles 1 y 2 del almacén, los cuales facilitan el acceso y movimiento de los productos. La distribución de productos de acuerdo a su presentación es la que se establece en la Tabla 1:

Tabla 1. Distribución de producto de acuerdo a su presentación

PRESENTACIÓN	# PZAS/TARIMA	PIEZAS POR CAJA	# DE CAJAS/TARIMA
TAMBOS	4	N/A	4
CUBETAS	48	N/A	48
GALONES	208	2	105
LITROS	756	6	126
MEDIOS	1344	6	224
CUARTOS	1944	12	162

Los productos AA y A representan el 85% de las ventas en litros, 17% de los stock keeping units (SKU) y el 78.1% de las unidades totales en empaque cerrado. En términos de SKU's, existen 60 SKU's de productos AA y 530 de productos A.

Con el trabajo presentado a continuación se buscó optimizar el acomodo del almacén de una de las plantas de Guadalajara en función de los productos AA y A, maximizando los espacios disponibles en el almacén, garantizando que las localizaciones de los productos con mayor movimiento se encuentren en el menor número de tarimas posibles.

Adicionalmente se llevó a cabo una revisión del movimiento de estos productos, para determinar qué modelo de pronósticos era el mejor prediciendo la menor desviación absoluta media (MAD por sus siglas en inglés).

La investigación se enfocó también en mostrar las mejores prácticas para el manejo de los almacenes, buscando con esto la comparación con los procesos que actualmente se llevan a cabo, buscando plantear nuevas herramientas para el manejo del almacén. Por último, se documentaron las rutas actuales de distribución, para que puedan servir como base a futuras mejoras.

Capítulos

A continuación se muestra un listado con los capítulos contenidos en este documento acompañados de una breve explicación.

- *Introducción*: En esta sección, se hablará acerca de la empresa para la cual se obtuvieron los datos a analizar.
- *Capítulo 1*: Aquí se habla de la teoría que sustenta los modelos matemáticos y supuestos utilizados para la realización de este trabajo de investigación.
- *Capítulo 2*: En este capítulo, se definieron y plantearon las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones que conforman el problema principal del almacén de Industrias Químicas de Occidente utilizando programación lineal.
- *Capítulo 3*: Se desarrollan los tratamientos que se pueden dar al inventario como una forma alterna de mejora en la administración del mismo.
- *Capítulo 4*: En él, se realizó un análisis de las rutas de distribución que actualmente salen del almacén de Industrias Químicas de Occidente.
- *Conclusiones*: Se propone en este apartado una solución integral de los diferentes problemas solucionados en los capítulos anteriores.

Antecedentes

De acuerdo al trabajo de Dallari et al. (2009), los almacenes pueden clasificarse de acuerdo a cómo se lleva a cabo el proceso de *picking*, quiénes surten los productos (personas/máquinas), quiénes se mueven en el área de *picking* (surtidores/productos), si las zonas de *picking* están conectados por cintas transportadoras y las políticas de *picking* empleadas (surtir por orden o por producto).

Tomando en cuenta dichos parámetros, la forma de surtido de Industrias Químicas de Occidente es denominada "*pickers-to-parts*", ya que los surtidores caminan por el almacén recolectando productos, de acuerdo a una orden de surtido. Dallari et al acotan que dicho sistema es para todos aquellos almacenes con menos de 1000 órdenes de surtido al día, y con pocos ítems por orden.

Roodbergen, en su trabajos relacionados con almacenes (Roodbergen K. &. 2006), (Roodbergen K. S., 2008) y (Roodbergen K. S., 2008), establece que el almacenamiento aleatorio se utiliza con frecuencia en la práctica, es por esto que se utilizará este tipo de almacenamiento en el modelado matemático.

Carrasco et al (2008) agrega que "los artículos más demandados se sitúan estratégicamente en el almacén para reducir las distancias globales recorridas por los preparadores, y que se puede encontrar un diseño que optimice la eficiencia de preparación de pedidos".

El acomodo de los productos es tratado con mayor profundidad por Manotas (2011) en su trabajo "Desarrollo de un modelo heurístico para la optimización en el manejo de material en estibas en una bodega", donde se enfoca en la optimización de la asignación de espacios.

En el trabajo de Dekker (2004) y Ling-feng (2006) se abordan diferentes políticas de almacenamiento, que en su conjunto permiten mejorar la operación de los almacenes. Arango Serna (2010) y Manzini (2007) brindan un enfoque de los costos implícitos en el almacenamiento.

Se decidió orientar la optimización del modelo matemático hacia la maximización de los espacios disponibles en el almacén, garantizando que las localizaciones de los productos con mayor movimiento, que en el caso de Industrias Químicas de Occidente son denominados como AA y A, se encuentren acomodados en el menor número de tarimas posibles.

Esto facilitará la preparación de pedidos, para asegurar el aprovechamiento del almacén. En el mismo trabajo de Carrasco, explican que una forma de acomodar los productos es tomando en consideración la clasificación ABC, “atendiendo a la distribución de Pareto del número de *picks* de cada artículo”. Afirma, asimismo, que en la planta baja de la zona de almacenaje se realizan los *pickings* de cajas completas y pallets. Esto reafirma que el planteamiento del modelo del almacén de Industrias Químicas de Occidente corresponderá a un sistema ya estudiado.

1. Antecedentes Teóricos

En esta sección, se habla de la teoría que sustenta los modelos matemáticos y supuestos utilizados para la realización de este trabajo de investigación. Se abordan los conceptos básicos relativos a la programación lineal, optimización matemática y análisis de sensibilidad, para finalizar se hace un recuento de los métodos de pronósticos.

1.1 Definición de términos básicos

El primer concepto a estudiar es el referente a la Programación lineal, siendo ésta de acuerdo a Winston (2011) una herramienta matemática para resolver problemas de optimización. En 1947, George Dantzin desarrolló un método denominado *algoritmo simplex*, para resolver problemas de programación lineal.

En cualquier problema de programación lineal, se empieza por definir las *variables de decisión*, las cuales describen por completo las decisiones que se tienen que tomar. Se considera también que el que toma las decisiones desea maximizar o reducir al mínimo algunas funciones de las variables de decisión. La función que se desea maximizar o minimizar recibe el nombre de función objetivo.

Si sólo se contara con los elementos anteriores, se podría decir que un problema tiene un número infinito de soluciones, sin embargo, tanto en los problemas de programación lineal como en la realidad, existen límites en los cuales una empresa puede producir, vender o distribuir. Dichas limitaciones se conocen como *restricciones*. Cada restricción debe ser una ecuación lineal o una desigualdad lineal.

También se agregan a una programación lineal restricciones especiales denominadas *restricciones de signo*, porque si una variable de decisión sólo puede asumir valores no negativos, se debe indicar en el mismo programa.

Para encontrar una solución al problema de programación lineal planteado, se define que la *región factible* es el conjunto de todos los puntos que satisfacen las limitaciones y las restricciones de signo de la programación lineal dada.

En un problema de maximización, una *solución óptima* es un punto con el valor de la función objetivo más grande en la región factible. De igual manera, para un problema de minimización, una solución óptima es un punto con el valor de la función objetivo más pequeño en la región factible.

Un problema de programación lineal en el cual alguna de las variables, o todas, debe ser un número entero no negativo, recibe el nombre de *problema de programación entera*. Existen diferentes tipos de programación entera (PE): cuando en un problema de PE se requiere que todas las variables tienen que ser enteros, se denomina un *problema puro de programación con enteros*.

Una programación entera en la cual se requiere que sólo algunas de las variables sean números enteros, se llama *problema combinado de programación con enteros*. Un problema de programación entera en el cual todas las variables tienen que ser iguales a 0 ó 1 recibe el nombre de *programación entera binaria*.

Cualquier programación entera podría considerarse como la relajación de una programación lineal más restricciones adicionales en las que se establecen cuáles variables tienen que ser enteros ó 0 y 1. De ahí que cuando se omiten todas las restricciones de enteros o variables binarias, a ese resultado se le llama *relajación del programa lineal* de la programación entera.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el algoritmo simplex facilita la solución de la programación lineal partiendo de una solución factible básica hasta llegar a otra mejor, al considerar una pequeña fracción de todas las soluciones factibles antes de obtener la solución óptima.

Aun cuando la región factible para una programación entera es un subconjunto de la región factible para la relajación de programación lineal de la PE, la programación entera es por lo regular más difícil de resolver que la relajación, porque no existe un algoritmo semejante a simplex que resuelva los problemas de PE.

La mayor parte de los problemas de programación entera se resuelven en la práctica mediante la *técnica de ramificación y acotamiento*. El método antes expuesto encuentra la solución óptima mediante la enumeración exhaustiva de los puntos en una región factible de un sub-problema.

Para efecto de profundizar en la solución óptima encontrada en un problema de programación lineal, se cuenta con la herramienta denominada *análisis de sensibilidad*, la cual tiene que ver con el efecto en la solución óptima de la programación lineal debido a cambios en los parámetros de la misma programación.

Se puede observar principalmente el análisis de los *coeficientes de la función objetivo* y del *precio sombra* o cambios en el lado derecho de la solución óptima.

Los *coeficientes de la función objetivo* cambian la pendiente de la recta correspondiente. Con el *rango de optimalidad*, mientras la función esté en los rangos no cambia la solución óptima; es decir, los valores de las variables de decisión siguen siendo los mismos.

Cuando el cambio en el coeficiente esté fuera de rango, la base actual ya no es óptima y se tiene que volver a resolver el problema. Los coeficientes de la función objetivo que no permitan aumento o disminución son muy sensibles y se les debe dar mayor seguimiento.

En cambio, los *precios sombra* o *dual price* responden a la pregunta de qué pasa ante una mayor disponibilidad de recursos. El precio sombra es la tasa a la cual va a aumentar o disminuir la función objetivo por el cambio en una unidad del recurso.

Se revisan las *restricciones activas* o que intervienen en la solución óptima, sobre todo aquellas que tienen precio sombra mayor a cero. Si el precio sombra es cero, ese recurso no hace una diferencia en el valor de la función objetivo, ya que tiene una holgura o excedente.

En caso de que los cambios en el lado derecho salgan del rango permisible, no es posible determinar el nuevo valor de la función objetivo sin volver a calcular el problema. En los casos de programación entera, no se le puede dar análisis de sensibilidad, porque no se mueve la solución respecto a la función completa, sino respecto al subconjunto de números que dan una solución entera.

En la revisión de la teoría, también se describirán cuáles son los métodos de pronóstico causales, buscando pronosticar los valores futuros de una variable (llamada dependiente) con ayuda de información anterior, a fin de estimar la relación entre la variable dependiente y una o más variables independientes.

En un método de pronóstico por extrapolación, se supone que los patrones anteriores y las tendencias continuarán en los meses futuros; se utilizan para pronosticar los valores futuros de series de tiempos a partir de valores anteriores de una serie temporal.

Los principales modelos de pronósticos se enumeran a continuación:

- Pronóstico con promedio móvil
- Suavización exponencial simple
- Método de Holt
- Método de Winters
- Regresión lineal simple
- Regresión múltiple

2. Modelo matemático de optimización

En este capítulo, se definieron y plantearon las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones que conforman el problema principal del almacén de Industrias Químicas de Occidente utilizando programación lineal. A su vez, se planteó el segundo escenario, basado en la solución del modelo original.

2.1 Modelo matemático acotado

En resumidas cuentas, se buscará acomodar la mayor cantidad de producto en el menor número de tarimas (llamadas también localizaciones) dentro del almacén de Industrias Químicas de Occidente. Para ejemplificar esa situación, se tomaron las presentaciones de medio litro, las cuales representaron el acomodo de 5 SKU's. En el último inventario general, los SKU's estaban contenidos en 10 localizaciones distintas, acomodados de la siguiente manera:

Tabla 2: Ubicación de productos de medio litro por localización

	28005	29505	22005	28985	22995	TOTAL TAMBOS
Localización 1	2					2
Localización 2	1.5					1.5
Localización 3	1.46					1.46
Localización 4		2.38				2.38
Localización 5			0.5			0.5
Localización 6			1.55			1.55
Localización 7			1.5			1.5
Localización 8				1.725		1.725
Localización 9				1.725		1.725
Localización 10					2.52	2.52

De acuerdo a lo establecido en el modelo matemático, cada localización puede contener hasta 4 tambos, por lo que los resultados expresados en "Total Tambos" reflejan el número de cada producto de medio litro que estaba en el almacén al momento del inventario de diciembre 2012. Matemáticamente implica lo siguiente:

$$\text{Loc} = \frac{y_{ij}}{336} \leq 4$$

Donde y_{ij} corresponde a las variables de medio litro. Dado que el número total de localizaciones ocupadas son 10 y son 5 los SKU's para acomodar, lo anterior se puede representar de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^{10} y_{ij} \leq Y_{ij}$$

De acuerdo al objetivo planteado, se buscaría maximizar las localizaciones desocupadas de los medios litros, expresándose como sigue:

$$Max Z = LD - Loc (y_{ij})$$

Donde $LD = 10$ Localizaciones disponibles

Puesto que en cada localización caben 4 tambos y se tienen 16.86 en total, al buscar maximizar el espacio disponible de las localizaciones, quedó como sigue:

Tabla 3: Segundo proceso de optimización

	28005	29505	22005	28985	22995	TOTAL TAMBOS
Localización 1	4					4
Localización 2	0.96	2.38	0.55			3.89
Localización 3			3	0.45	0.52	3.97
Localización 4				3		3
Localización 5					2	2
Localización 6						0
Localización 7						0
Localización 8						0
Localización 9						0
Localización 10						0

Se puede observar que el número de localizaciones se ve reducido a la mitad, por lo cual se optimiza el número de localizaciones disponibles. El resultado está expresado en tambos, siendo 4 tambos el máximo a ocupar por localización.

2.2 Modelo completo

Ahora, al tomar el problema en su dimensión completa; esto es, para 590 productos en las diferentes presentaciones para acomodarlas en 790 localizaciones, se tiene lo siguiente:

2.2.1 Variables de decisión

Debido a que se buscó el acomodo óptimo de los lugares dónde se puede acomodar el producto, lo que interesó para la formulación del modelo matemático fueron tanto las localizaciones totales disponibles, como las localizaciones que serán ocupadas por los productos AA y A, siendo que la última se puso en función de los SKU's que se distribuyan en cada localización. Es por esto que las variables quedaron como sigue:

u_{i_1j} = cantidad del producto en tambo i que se encuentra en la localización j .

v_{i_2j} = cantidad del producto en cubeta i que se encuentra en la localización j .

w_{i_3j} = cantidad del producto en galón i que se encuentra en la localización j .

x_{i_4j} = cantidad del producto en litro i que se encuentra en la localización j .

y_{i_5j} = cantidad del producto en medio litro i que se encuentra en la localización j .

z_{i_6j} = cantidad del producto en cuarto de litro i que se encuentra en la localización j .

2.2.2 Criterio de Optimización

Se pretendió encontrar la mejor ubicación de cada producto AA y A en el almacén de Industrias Químicas de Occidente, de acuerdo a una distribución aleatoria que permita aumentar el total de espacios desocupados. La distribución aleatoria se da en función de que el modelo sólo da preferencia de acomodo por presentación, pero sin considerar una preferencia de un producto específico. Se tomó en cuenta que existen 970 localizaciones posibles (donde cada localización es una tarima) y se buscó llenar por completo el espacio de cada localización.

2.2.3 Función Objetivo

$$Max Z = LD - loc(u_{i_1j}, v_{i_2j}, w_{i_3j}, x_{i_4j}, y_{i_5j}, z_{i_6j}),$$

Donde

$$loc(u_{i_1j}, v_{i_2j}, w_{i_3j}, x_{i_4j}, y_{i_5j}, z_{i_6j}) := \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{970} \left(\sum_{i_1=1}^{107} u_{i_1j} + \sum_{i_2=1}^{302} \frac{v_{i_2j}}{12} + \sum_{i_3=1}^{119} \frac{w_{i_3j}}{52} + \right.$$

$$\left. i_4=150x_{i_4j} + i_5=15y_{i_5j} + i_6=17z_{i_6j} \right) / 486$$

Donde

$$LD = \text{Número de localidades disponibles (para este problema, } LD = 970)$$

2.2.4 Análisis dimensional

Para asegurar que las variables en la función objetivo están expresadas en las mismas unidades, se llevó a cabo un análisis dimensional, quedando como sigue:

$$u_{i_1j}(\text{tambos}) + \frac{v_{i_2j}(\text{cubetas})}{12 \left(\frac{\text{cubetas}}{\text{tambos}} \right)} + \frac{w_{i_3j}(\text{galones})}{52 \left(\frac{\text{galones}}{\text{tambos}} \right)} + \frac{x_{i_4j}(\text{litros})}{189 \left(\frac{\text{litros}}{\text{tambos}} \right)} + \frac{y_{i_5j}(\text{medios})}{336 \left(\frac{\text{medios}}{\text{tambos}} \right)} + \frac{z_{i_6j}(\text{cuartos})}{486 \left(\frac{\text{cuartos}}{\text{tambos}} \right)}$$

Aquí se comprobó que todas las variables corresponden a tambos, unidad con la cual se irán llenando cada una de las localizaciones del almacén.

2.2.5 Restricciones

Cada localización que se buscó ocupar puede contener 4 tambos o 48 cubetas; 210 galones o 756 litros; 1334 medios litros o 1944 cuartos de litro. Para efecto de tener un valor unitario en función del cual se midiera la proporción de las demás presentaciones, y de un correcto análisis dimensional, se convirtieron todas las cajas en función de los tambos que pueden caber en una localización.

Así, 1 tambo equivale a 12 cubetas, 52 galones, 189 litros, 336 productos con la presentación de medio litro o 486 cuartos de litro. En cada localización pueden ser posicionados hasta 4 tambos, por eso, la restricción planteada es la siguiente:

$$\sum_{i_1=1}^{107} u_{i_1j} + \sum_{i_2=1}^{302} \frac{v_{i_2j}}{12} + \sum_{i_3=1}^{119} \frac{w_{i_3j}}{52} + \sum_{i_4=1}^{50} \frac{x_{i_4j}}{189} + \sum_{i_5=1}^5 \frac{y_{i_5j}}{336} + \sum_{i_6=1}^7 \frac{z_{i_6j}}{486} \leq 4$$

Cada una de las presentaciones de productos deberá acomodarse en el total de localizaciones disponibles, y la suma de los productos acomodados deberá ser menor o igual al total de productos por acomodar. El juego de restricciones quedaría de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^{970} u_{i_1j} = U_{i_1} \quad \forall i_1 = 1, 2, \dots, 107$$

$$\sum_{j=1}^{970} v_{i_2j} = V_{i_2} \quad \forall i_2 = 1, 2, \dots, 302$$

$$\sum_{j=1}^{970} w_{i_3j} = W_{i_3} \quad \forall i_3 = 1, 2, \dots, 119$$

$$\sum_{j=1}^{970} x_{i_4j} = X_{i_4} \quad \forall i_4 = 1, 2, \dots, 50$$

$$\sum_{j=1}^{970} y_{i_5j} = Y_{i_5} \quad \forall i_5 = 1, 2, \dots, 5$$

$$\sum_{j=1}^{970} z_{i_6j} = Z_{i_6} \quad \forall i_6 = 1, 2, \dots, 7$$

Todas las variables por presentación deben ser positivas y enteras. Lo anterior se representó con las ecuaciones:

$$u_{i_1j} \geq 0$$

$$v_{i_2j} \geq 0$$

$$w_{i_3j} \geq 0$$

$$x_{i_4j} \geq 0$$

$$y_{i_5j} \geq 0$$

$$z_{i_6j} \geq 0$$

2.2.6 Solución

Los resultados del escenario 1 se muestran a continuación. Debido a la dimensión del problema, se muestra únicamente el concentrado para algunas localidades.

Función objetivo

$$Z = 400.94 \text{ localidades disponibles}$$

Variables de decisión

En el resultado del primer escenario se observó que la mezcla de productos se encuentra distribuida a lo largo de las 970 localidades sin un orden en particular. Si se comparan los resultados del escenario 1 con las localidades ocupadas antes de la optimización matemática, quedarán como siguen:

Tabla 4: Resultados Escenario 1

Localizaciones disponibles (Previo)	Localizaciones disponibles (Optimizado)	Diferencia
189	261	9.2%

La solución encontrada es óptima, sin embargo, al analizar los datos, el resultado del escenario no reflejaba al 100% el escenario deseado por el almacenista, ya que el modelo llena la mayoría de las localizaciones con el mismo SKU, pero no los llena totalmente.

Además se observó que el producto no fue acomodado desde la localidad #1, lo que en la práctica resultaría inconveniente para el almacenista, debido a la lejanía entre los productos y a la situación de que por la aleatoriedad, el modelo se salta localizaciones.

Razón por la cual hubo que realizar trabajo adicional para afinar el modelo y establecer un escenario más acorde con la realidad del almacenista y el almacén.

2.2.7 Escenario 2

Después de observar la solución, el almacenista observó que se tenían localidades vacías. El almacenista comentó que él prefiere que se llene por lo menos el 97.5% de una localidad antes de comenzar a llenar la siguiente. Por lo tanto, en el modelo matemático se debe plantear una restricción nueva. En base a la solución del escenario 1 se sabe la cantidad de localidades ocupadas son 579. Por lo tanto, para dichas localidades se planteó la siguiente restricción:

$$\sum_{i_1=1}^{107} u_{i_1j} + \sum_{i_2=1}^{302} \frac{v_{i_2j}}{12} + \sum_{i_3=1}^{119} \frac{w_{i_3j}}{52} + \sum_{i_4=1}^{50} \frac{x_{i_4j}}{189} + \sum_{i_5=1}^5 \frac{y_{i_5j}}{336} + \sum_{i_6=1}^7 \frac{z_{i_6j}}{486} \geq 3.9, \forall j = 1, 2, \dots, 579$$

2.2.8 Solución Escenario 2

Los resultados del escenario 2 se muestran a continuación. Debido a la dimensión del problema, se muestra únicamente el concentrado para algunas localidades.

Función objetivo

$$Z = 400.94 \text{ localidades disponibles}$$

VARIABLES DE DECISIÓN

En el resultado del segundo escenario se observó que la mezcla óptima de productos por localidad, una vez involucrada la restricción del llenado de, por lo menos, el 97.5% de cada localidad.

A pesar de que la función objetivo da la misma cantidad de localidades maximizadas, al comparar el número de localidades utilizadas, se obtiene la tabla siguiente:

Tabla 5: Solución escenario 2

Localizaciones disponibles (Previo)	Localizaciones disponibles (Optimizado)	Diferencia
189	391	25.9%

El modelo al cumplir con la nueva restricción, acomoda el producto en un menor número de localizaciones siendo un 22.45% menos que en el primer escenario, y al realizar las iteraciones, la solución óptima genera localizaciones en las que el producto se mezcla; tanto de SKU's como de presentaciones (tambos, cubetas, etc.).

La ubicación del producto mejora, al estar el 84.11% en el Nivel 1, logrando que el 99.82% de las localizaciones sean consecutivas.

2.3 Conclusiones y Recomendaciones

2.3.1 Conclusiones

Para realizar la comparación en costos de cada uno de los modelos, se pidió información al Director de Logística de Industrias Químicas de Occidente, el cual proporcionó los siguientes datos:

Tabla 6: Costos de almacén

Tipo de Costo	Costo incurrido	Conversión a Pesos
Costo de oportunidad de cada localización	55 USD	\$ 712.33
Instalación de cada localización	100 USD	\$ 1,295.15
Montacarga	500,000 MXN	\$ 500,000.00
Mantenimiento del montacargas	5,000 MXN	\$ 5,000.00
Sueldo del montacarguista	5,000 MXN	\$ 5,000.00

Se tomó para la conversión de los dólares el precio promedio del mes de mayo²⁶ (Anexo 1). Analizando la información se determinó que los datos relevantes para el comparativo se centran en el costo de oportunidad de cada localización, es decir, en caso de que se rentara la bodega, ¿a qué precio se daría cada una de ellas?

Por la misma experiencia del director, y en base a información que tenía en su poder, se determinó que cada una de las localizaciones representan 55 USD, o su equivalente en pesos de \$712.33. Adicionalmente se puede analizar cuál hubiera sido el costo inicial de instalación del almacén en caso de que se hubiera utilizado los modelos de optimización desde un inicio:

Tabla 7: Comparativo de costos del escenario 1

	Real	Óptimo	Diferencia
Localizaciones Ocupadas	781	709	72
Costo de instalación	\$ 1'011,512.15	\$ 918,261.35	\$ 93,250.80
Costo de Oportunidad	\$ 556,329.73	\$ 505,041.97	\$ 51,287.76

Tabla 8: Comparativo de costos del escenario 2

	Real	Óptimo	Diferencia
Localizaciones Ocupadas	781	579	202
Costo de instalación	\$ 1'011,512.15	\$ 749,891.85	\$ 261,620.30
Costo de Oportunidad	\$ 556,329.73	\$ 412,439.07	\$ 143,890.66

La solución del Escenario 1 muestra que el modelo matemático de programación lineal dio un resultado mejor al que actualmente se tiene en Industrias Químicas de Occidente, pues las localizaciones ocupadas con el modelo fueron menores a las localizaciones ocupadas previas a la optimización, dando una mejora del 9.2%, por tanto el modelo supera el acomodo actual. No obstante el Escenario 1 no refleja las mejores condiciones, pues los productos quedan revueltos dentro de las 970 localizaciones sin orden en particular.

La solución presentada en el Escenario 2 refleja mejor la realidad del acomodo de productos en base a lo descrito por el Almacenista de Industrias Químicas de Occidente, el cual dice que es mejor llenar una localización por lo menos hasta el 97.5% de su totalidad antes de proceder a acomodar producto en otra localización. En términos de espacio total disponible, el valor de la función objetivo no cambia, en donde se refleja el cambio es en el acomodo de los productos. Mientras que en el Escenario 1 existían 709 localidades con producto almacenado, al optimizar el acomodo de los productos en las localizaciones, se obtiene para el Escenario 2 que existen 579 localizaciones con producto almacenado, lo cual representa una mejora del 25.9%.

Ahora bien, para el Escenario 3 se realizó una nueva clasificación ABC en base a las unidades con mayor movimiento dentro del almacén, a diferencia de la clasificación de productos con mayor venta. La mejora obtenida con el modelo matemático de programación lineal fue del 28.2% comparado con las localizaciones que ocupaban estos productos de la nueva clasificación.

Cabe mencionar que en la clasificación ABC realizada, se contemplan como productos más valiosos los de alto volumen (Tambos y cubetas), que también lo son de alto valor monetario; sin embargo estos representan una dificultad mayor a la hora de su transporte. Por lo tanto se concluyó que el modelo refleja un buen acomodo del almacén, ya que es más aplicable al movimiento diario del mismo, facilitando el acceso del almacenista a los productos.

2.3.2 Recomendaciones

La optimización del acomodo de productos dentro del almacén por clasificación ABC es solamente el primer paso para un almacén con movimientos optimizados. Se necesitan, además, tener buenas prácticas dentro del almacén referentes a las rutas de distribución. Se pretende, con este trabajo, fincar las bases para que se pueda hacer un problema de optimización más amplio que incluya las rutas de distribución. Si se desea realizar un programa de optimización para poder establecer las rutas óptimas, es necesario llevar a cabo las siguientes acciones:

- Establecer la ubicación de los clientes de forma georeferenciada, para determinar cuántos de ellos pertenecen a cada ruta.

- Generar información de las rutas una vez que ya se tengan referenciados a los clientes, para analizar la frecuencia de pedidos de cada cliente.
- Con la información anterior, identificar los datos relevantes para realizar un modelo matemático de optimización de rutas.
- Proceder a la resolución del problema de optimización de rutas.
- Generar un documento que ayude a la generación de rutas óptimas de acuerdo a los pedidos generados diariamente, para entregarlos a los clientes.
- En una segunda etapa, se podría replicar la optimización en las rutas foráneas.

3. Inventario y pronósticos

En este capítulo se habla de los tratamientos que se pueden dar al inventario como una forma alterna de mejora en la administración del mismo.

3.1 Inventario

La parte de la empresa que se está analizando a profundidad es el inventario, razón por la cual se buscó profundizar en el tema para no sólo realizar la optimización del acomodo del almacén, sino también sugerir estrategias de mejora que permitan que el sistema funcione en su totalidad.

En el labor de Zipkin (2000) se especifica que los sistemas multiproductos y los sistemas de multilocalización son fundamentalmente idénticos, por lo que un sistema con productos múltiples y localidades puede ser resueltos de forma aproximada.

En lugar de productos o localizaciones, se pueden utilizar entidades genéricas denominadas ítems, los cuales pueden indicar localizaciones, productos o una combinación de ellos. Para el modelo matemático de Optimización se sabía que para cada presentación se contaba con una cierta cantidad de producto, y se decidió convertir todos los productos a tambos y en base a eso acomodar la totalidad de producto.

De acuerdo al libro Gestión de Stocks: Optimización de almacenes (1999) los módulos utilizados habitualmente para el almacenaje de las existencias son las medidas, el volumen teórico o el volumen útil.

La manera en que se pensó para la generalización del acomodo del almacén fue a través de la transformación en tambos de todas las presentaciones. Tal y como se especificó en la Tabla 1, que corresponde a la distribución de producto de acuerdo a su presentación, para efecto de tener un valor unitario en función del cual se midiera la proporción de las demás presentaciones, se convirtieron todas las cajas en función de los tambos que pueden caber en una localización. En cada localización pueden ser posicionados hasta 4 tambos.

El mismo Zipkin establece un modelo en el cual con ítems independientes y cuyos procesos de demanda y proveeduría son distintos entre ellos. El autor establece su modelo matemático en función de la demanda, el costo y las horas de trabajo necesarias para elaborar una orden.

En cambio, el modelo que utilizamos está en función de cada producto y se busca la mejor localización, sin embargo, a final de cuentas, lo que se mejora es el consumo de un recurso limitado en los ítems.

También es un hecho conocido que la mayor parte del valor invertido en el stock, se concentra en un pequeño número de productos. Asimismo, el análisis ABC interviene cuando se trata con un número grande de ítems, dividiendo los ítems en unos cuantos grupos.

En Industrias Químicas de Occidente se fabrican alrededor de 2,400 productos y existen registros de más de 13,500 SKU's, correspondientes a todos los productos que han sido fabricados por lo menos una vez desde que se inició la empresa. Del total de SKU's sólo 3,465 tienen movimiento frecuente y el área de Almacén y Logística los clasifica según el método ABC, considerando que los productos A deben representar el 85% de la venta en litros, los B el 10% y los C el 5%

Adicionalmente, se tiene una subclasificación de productos A denominada AA, la cual corresponde a 60 productos a los cuales se les da seguimiento diario para monitorear que nunca falten en almacén, o si lo hacen, asegurar su reabastecimiento en menos de 24 horas. Los productos A representan 530 SKU's, los B 626 y los C 2,249 artículos.

Los productos AA representan el 45.5% de las ventas totales por litro de la empresa, el 1.7% de los SKU's totales y el 36.9% de las unidades totales en empaque cerrado. Los productos A corresponden al 39.5% de las ventas, el 15.3% de los SKU's y el 41.2% de las unidades totales. Los productos B son el 10% de la venta total, el 18.1% de los SKU's y el 13.6% de las unidades en empaque cerrado. Por último, los productos denominados C generan el 5% de las ventas, y son el 64.9% de los SKU's y el 8.3% de las unidades en empaque cerrado.

La distribución del ABC por su participación en SKU's, litros y unidades se muestra a continuación:

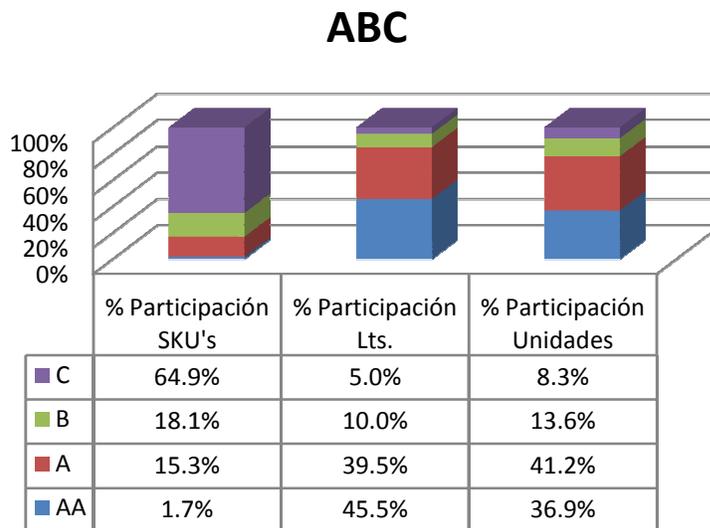


Figura 1 Gráfico de la participación del ABC en SKU's, Litros y Unidades

Los productos AA y A se acomodan generalmente en el primer o segundo nivel del almacén, siendo 970 los espacios disponibles en esos niveles. Dichos productos utilizan 781 localizaciones en dichos niveles. En total corresponden a 60 productos tipo AA y 530 productos tipo A, que serán los que se buscarán acomodar de manera óptima.

Las técnicas de previsión estipuladas por Ferrín (1999) establecen que la administración del Stock requiere previsiones de consumo, las cuales son tratadas en el capítulo de Pronósticos, ya que el primer paso consiste en analizar cómo se comporta la demanda de cada producto, tomando en cuenta la estacionalidad.

Sin embargo, tal y como se acota en el libro de Sistemas de Producción de Inventarios (Buffa & Taubert, 1984) el sistema de inventarios debe reconocer la variabilidad inherente que tienen la demanda y predecir la manera en que variarán. De la misma manera se debe considerar que cualquier sistema siempre tendrá faltantes.

De acuerdo al mismo libro es imperativo tomar en cuenta otros factores como el tamaño de lote de pedido, la regularidad con la que se pide, etc. En realidad, la mayoría tienen múltiples etapas y puede resultar que según las etapas se deban

preferir distintos métodos y técnicas. Cuando la actividad es baja, el sistema de pedido de cantidad fija pospone la acción hasta que puede colocar un pedido de magnitud razonable.

El sistema de ciclo de reorden permite agrupar pedidos de distintos productos individuales que se formulan a un solo proveedor y aprovechar el menor costo del transporte en grandes cantidades. El sistema de reabastecimiento optativo parece combinar las ventajas importantes de los otros dos sistemas.

Para poder llevar a cabo la mejora anterior, es necesario, antes que nada, saber qué productos tendrán mayor impacto económico y tener noción de la cantidad esperada a vender de los mismos productos. Para ello, es necesario el uso de un método de pronóstico.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo 1 de antecedentes teóricos, se tienen los siguientes modelos de pronósticos más utilizados:

- Pronóstico con promedio móvil
- Suavización exponencial simple
- Método de Holt
- Método de Winters
- Regresión lineal simple
- Regresión múltiple

De los modelos listados, El método de Winters se ajusta mejor a los datos que presentan tanto tendencia, como estacionalidad, características presentes en las ventas de la mayoría de los productos de Industrias Químicas de Occidente.

El método de Winters, es, por estos motivos, el modelo más completo debido a que de éste parte la definición del modelo de Holt y de suavización exponencial simple, por lo tanto si en algún producto no existe tendencia o estacionalidad, el modelo de Winters se ajusta para eliminar el faltante del modelo.

A continuación se muestra la definición del modelo matemático de Winters para pronósticos.

$$L_t = \frac{\alpha x_t}{s_{t-c}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$s_t = \frac{\gamma x_t}{L_t} + (1 - \gamma)s_{t-c}$$

$$f_{t,k} = (L_t + kT_1)s_{t+k-c}$$

Donde:

$L_t =$ estimación de la base final del periodo t

$T_t =$ estimación de la tendencia por periodo al final del periodo t

$s_t =$ estimación para el factor estacional del mes t

$f_{t,k} =$ pronóstico para el periodo $t + k$ efectuado al final del periodo t

$\alpha, \beta, \gamma =$ Parámetros de suavización

Por lo que se refiere a todos los métodos de extrapolación, contamos con que el 68% de nuestros pronósticos estará dentro de $s_e = 1.25$ MAD del valor real, y 95% de los pronósticos estarán dentro de $2s_e$ del valor real. Los parámetros de suavización se pueden optimizar para que el MAD sea mínimo, y por consecuencia también el MSE (Error Cuadrado Promedio). α, β y γ deberán ser valores entre 0 y 1.

3.2 Pronósticos

Es importante realizar pronósticos de los productos más importantes para prever la cantidad de producto que se podrá vender y mantener los productos en inventario. De este modo se podrá correr de antemano el modelo de programación lineal y saber *a priori* la localización que se le dará a dichos productos.

El pronóstico se realizó sobre los productos AA después de haber sido clasificados en productos ABC. Además, se tomaron los 5 productos cuyas ventas, en unidades monetarias, han sido más significativas a lo largo del período de Enero 2011 a Abril del 2012, representando el 15.56% del porcentaje total de ventas y litros. Por lo tanto se llevaron a cabo pronósticos para las ventas de los siguientes productos:

- L-31001
- S-17003
- G-31101
- E-67761
- E-68011

Se realizó un estudio sobre los productos para ver cuál método de pronóstico sería el adecuado. Los pronósticos a probar fueron: Promedio móvil, método de Winters y método de Holt. Debido a que los productos cuentan tanto con tendencia como estacionalidad, el modelo de Winters se adapta mejor para el pronóstico de los productos. La cantidad de periodos registrados para el pronóstico fue de 28 meses, de Enero 2011 hasta Abril 2013. Con el histórico de ventas se pretende estimar las ventas esperadas de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre del 2013.

3.2.1 Optimización de los parámetros de suavización

Como se comentó con anterioridad, el modelo de Winters considera tendencia, estacionalidad y suavización exponencial, por lo tanto el modelo cuenta con tres parámetros de suavización, los cuales son α, β, γ . Estos parámetros se eligen al criterio del pronosticador. El criterio que se decidió tomar para la elección de los parámetros fue el tomar los valores óptimos para la minimización del error cuadrado promedio (MSE por sus siglas en inglés) del pronóstico. Por lo tanto se propuso el siguiente modelo de optimización para cada uno de los 5 productos de mayor impacto económico en la empresa.

3.2.1.1 Criterio de optimización

Se pretende optimizar el error cuadrado promedio (MSE), por lo tanto

$$Z = \text{Error cuadrado promedio}$$

3.2.1.2 Variables de decisión

$\alpha = \text{parámetro de suavización exponencial}$

$\beta = \text{parámetro de suavización de tendencia}$

$\gamma = \text{parámetro de suavización de estacionalidad}$

3.2.1.3 Función objetivo

$$Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{t_n} - f_{t,k_n})^2$$

Donde,

$n = \text{número de periodos}, \quad x_{t_n} = \text{Periodo } n, \quad f_{t,k} = \text{Pronóstico } n$

3.2.1.4 Restricciones

$$0 \leq \alpha \leq 0.5$$

$$0 \leq \beta \leq 0.5$$

$$0 \leq \gamma \leq 0.5$$

3.2.1.5 Modelo completo

$$\text{Min } Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{t_n} - f_{t,k_n})^2$$

Sujeto a

$$0 \leq \alpha \leq 0.5$$

$$0 \leq \beta \leq 0.5$$

$$0 \leq \gamma \leq 0.5$$

Este modelo se aplicará para cada uno de los 5 productos.

3.2.1.6 Solución

Al optimizar el problema de los parámetros de suavización óptimos para cada uno de los 5 productos, se llegó al resultado mostrado en la tabla 9:

Tabla 9: Parámetros de suavización óptimos

Producto	α	β	γ
L-31001	0.5	0.5	0.5
S-17003	0.5	0.5	0.49
G-31101	0.39	0.49	0.13
E-67761	0.45	0.41	0.27
E-68011	0.5	0.5	0.49

3.2.2 Pronóstico con parámetros óptimos

Una vez obtenidos los valores óptimos de los parámetros de suavización, se procedió a realizar el pronóstico mediante la ayuda del paquete computacional “Minitab”. Los resultados se muestran por producto.

3.2.2.1 Para el producto 1 (L-31001)

El pronóstico de los siguientes 6 periodos es el siguiente:

Tabla 10: Pronóstico para el producto L-31001

Mes	Pronóstico
Mayo	510.959
Junio	562.535
Julio	607.669
Agosto	617.833
Septiembre	509.511
Octubre	606.342

A continuación se muestra el gráfico del pronóstico del producto L-31001

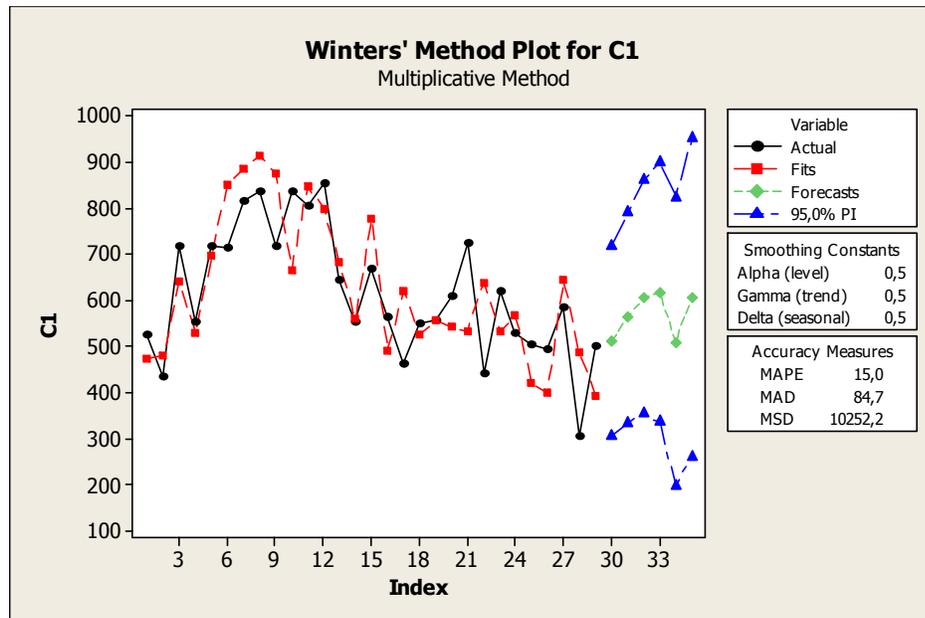


Figura 2. Gráfico del pronóstico para el producto L-31001

La gráfica muestra que el pronóstico (en línea verde) seguiría el comportamiento de las ventas, minimizando el error cuadrado promedio, por lo cual se cumple con el objetivo de generar un pronóstico ajustado al comportamiento histórico de los datos recabados. Dicha información abarca desde enero del 2011 hasta abril del 2013.

3.2.2.2 Para el producto 2 (S-17003)

Tabla 11: Pronóstico para el producto S-17003

Mes	Pronóstico
Mayo	1960.80
Junio	661.40
Julio	928.48
Agosto	828.03
Septiembre	1006.53
Octubre	886.58

El gráfico del pronóstico del producto S-17003 queda como sigue:

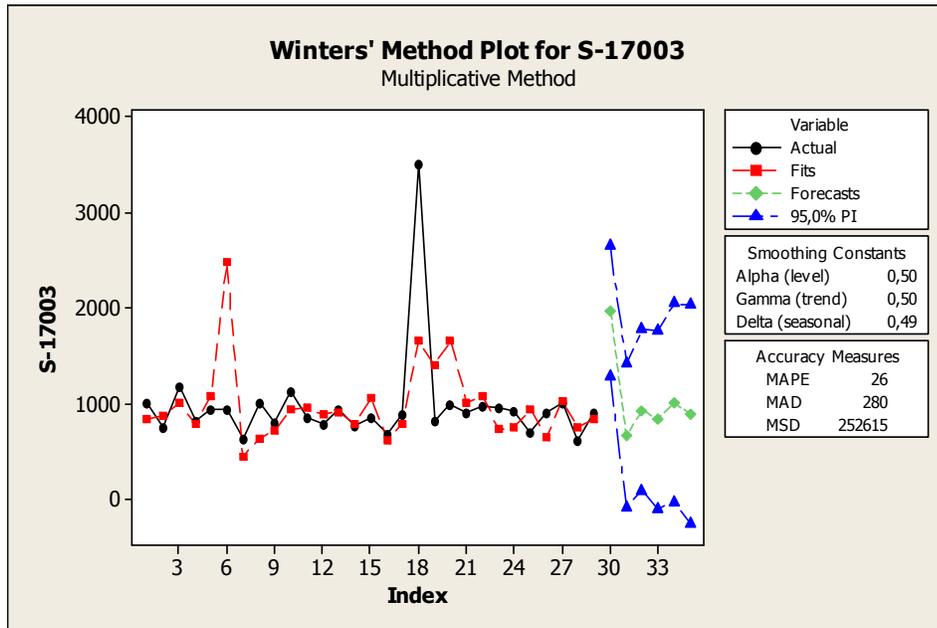


Figura 3. Gráfico del pronóstico para el producto S-17003

La información muestra que existe un pico a mediados del 2012, sin embargo, se debió a esfuerzos promocionales del producto estudiado. También aquí se demuestra que los parámetros de suavización ayudan en el pronóstico. Si se desea evitar que exista un pico en el mismo, el encargado de realizar los pronósticos deberá considerar eliminar el impacto resultante de la promoción, ayudándose del área de ventas para que determine qué tanto influyó la misma en los resultados.

3.2.2.3 Para el producto 3 (G-31101)

Tabla 12: Pronóstico para el producto G-31101

Mes	Pronóstico
Mayo	4611.45
Junio	545.98
Julio	589.97
Agosto	576.98
Septiembre	806.50
Octubre	909.64

A continuación se muestra el gráfico del pronóstico del producto G-31101

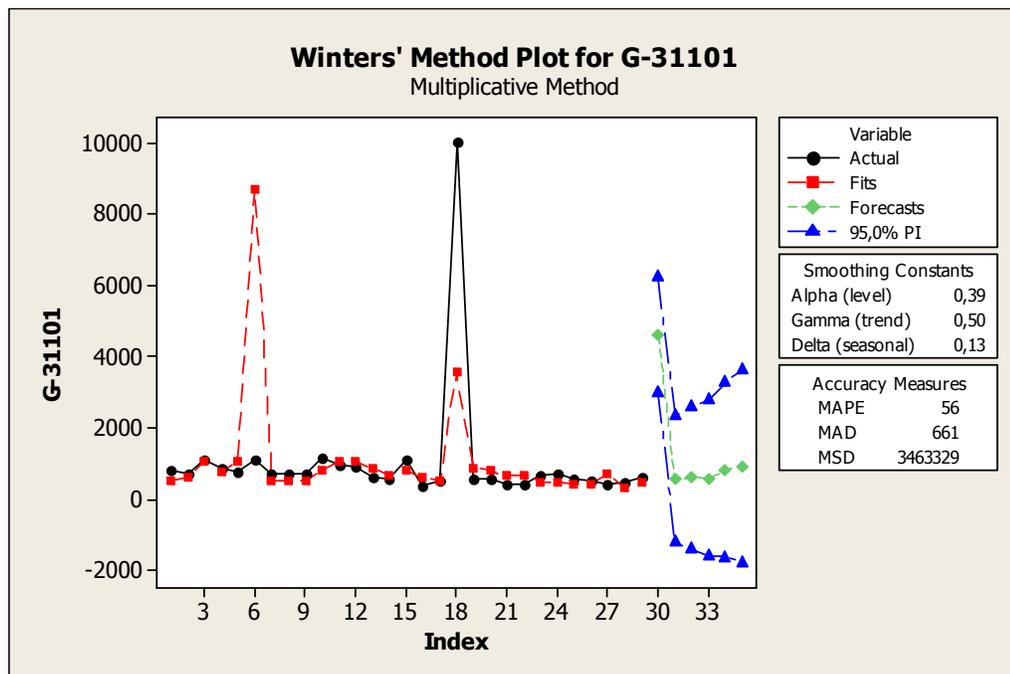


Figura 4. Gráfico del pronóstico para el producto G-31101

Aquí también se observa el efecto de la promoción. Al tratarse de los productos que representaron mayores ventas, es más probable que se vean afectados por estos fenómenos. Razón de más para definir cuáles serán las políticas del encargado de los Pronósticos ante ventas inusitadas.3.2.2.4 Para el producto 4 (E-67761)

Tabla 13: Pronóstico para el producto E-67761

Mes	Pronóstico
Mayo	2584.41
Junio	262.83
Julio	271.82
Agosto	304.33
Septiembre	255.86
Octubre	271.37

El gráfico quedaría así:

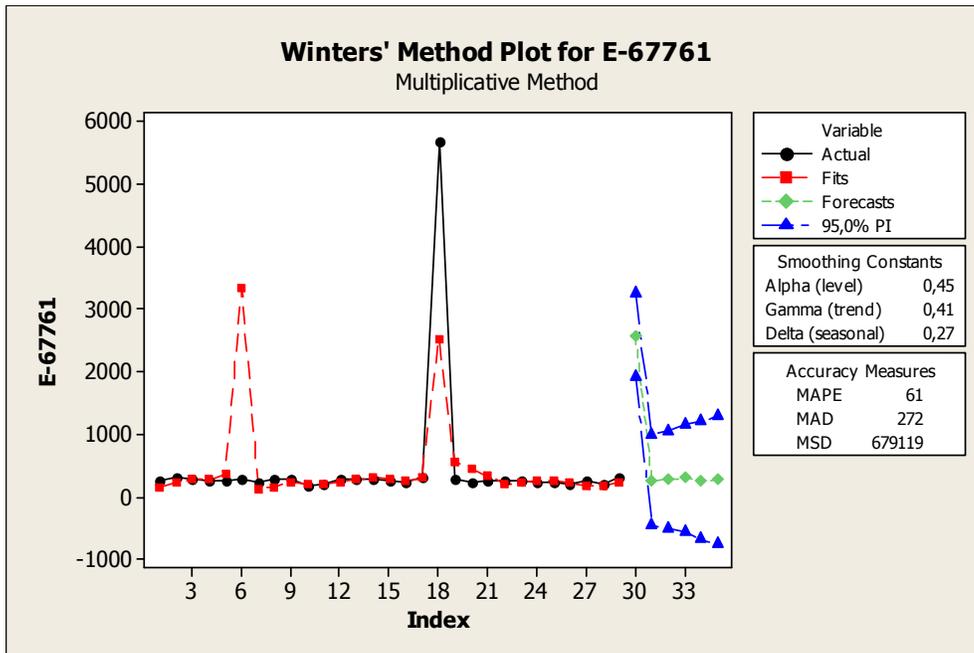


Figura 5. Gráfico del pronóstico para el producto E-67761

Al igual que en las otras dos gráficas, se observa un dato inusitado. El modelo matemático sin embargo, ayudó a que se minimizara el error cuadrado promedio.

Cabe destacar asimismo, que aunque el pronóstico se obtiene con decimales, cuando se implemente será necesario ajustarlo para que cumpla con los parámetros de lotes de producción definidos en la empresa.

4.2.2.5 Para el producto 5 (E-68011)

Tabla 14: Pronóstico para el producto E-68011

Mes	Pronóstico
Mayo	438.036
Junio	245.467
Julio	357.007
Agosto	333.015
Septiembre	374.128
Octubre	298.014

A continuación se muestra el gráfico:

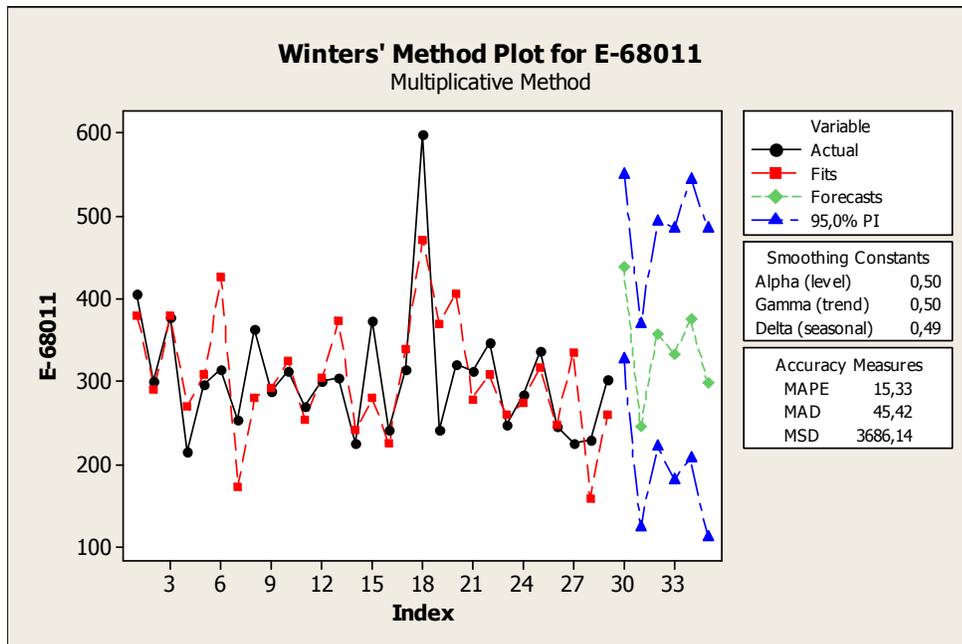


Figura 6. Gráfico del pronóstico para el producto E-68011

Se observa que en los productos con mayores ventas el pronóstico de Winters ayuda a predecir valores futuros de venta (en verde), respetando la estacionalidad y

la tendencia. Con los valores óptimos de α , β y γ se pudo pronosticar con el menor error cuadrado promedio, lo cual asegura que el modelo se ajusta mejor a las ventas.

4. Rutas de distribución

En este capítulo se realizó un análisis de las rutas de distribución que actualmente salen del almacén de Industrias Químicas de Occidente. Del mismo modo, se establecerán recomendaciones para implementar mejoras.

4.1 Rutas

Actualmente, Planta 1 se encarga de surtir los pedidos de todos los clientes de la Zona de Ventas Matriz Local, excepto lo correspondiente a los clientes de las Tiendas. En promedio se realizan 101 pickings al día, siendo 7 el mínimo de pedidos entregados y el máximo 224, con 4 SKU's en promedio por pedido.

Existen 48 tiendas (Anexo 2) actualmente en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Se facturan en promedio 12 pedidos por tienda, representando un total de 14,254 kilogramos por día, con 3 SKU's promedio. El 34% de dichos pedidos se entrega en mostrador y el resto se envía por medio de camiones de Tiendas. Las tiendas pueden surtir piezas sueltas, así que todo pedido que requiera entregarse de esta manera será surtido en Tiendas, incluso si se trata de clientes de Planta 1.

Un 15% de los pedidos realizados en Tiendas se buscarán integrar al surtido de la Planta 1, lo cual incrementaría el promedio de pedidos surtidos y entregados por día a 159, un aumento del 57.42%, por lo cual se requiere determinar cuál debe ser el acomodo del almacén de Planta 1 por producto ABC para minimizar el tiempo de surtido y permitir aumentar el número de pedidos surtidos en la planta para rutas locales.

Esto lleva a que resulte muy importante identificar qué rutas se están realizando actualmente, ya existe sólo una persona que se encarga de elaborar las rutas y no se tenía documentación de las mismas. Se solicitó su ayuda para registrar en Google Maps las rutas que más comúnmente se realizan. A continuación se muestra un resumen de los recorridos estándar, el número de pedidos promedio y los pesos de las cargas:

Tabla 15: Rutas de embarque

Ruta	Nombre de la Ruta	Perímetro de la Ruta	Tiempo de Ruta	# Entregas Promedio	Kg	Punto más lejano	Km
A	Tlaquepaque-Río Nilo	40	1:09	6	779	Suc. Río Nilo	14.7
B	Nodo Revolución-Zapotlanejo	94.2	1:47	3	715	Puente Grande	35
C	El Castillo-El Salto	76.8	1:38	8	3,135	Suc. El Trece	15.2
D	El Trece-El Salto	68.9	1:15	6	461	El Salto	31
E	Gobernador Curiel-Sta. Fe-Av. Colón	44.1	1:15	7	634	Suc. Santa Fe	18
F	Centro Sur-San Miguel Cuyutlán	60.9	0:59	6	408	Suc. Santa Fe	18
G	Ciudad de los Niños-Acatlán-San Isidro Mezatepec	167.7	3:12	7	2,189	San Isidro Mazatepec	51
H	Mariano Otero-El Briseño-Miramar	35.2	1:15	5	2,229	Suc. El Briseño	10.7
I	Niños Héroes-Paraísos del Colli-Parque Metropolitano	26.1	1:03	7	2,413	Suc. El Briseño	10.7
J	Minerva-Venta del Astillero	95.8	1:40	7	371	Venta del Astillero	33.5
K	Américas-Rubén Darío-Tesistán	82.4	2:19	4	1,193	Tesistán	24.1
L	Munguía-Ávila Camacho-El Centinela	42.25	1:42	4	1,043	Suc. Tabachines	10.8
M	Tienda Hidalgo-Mesa Colorada	40.55	1:34	5	1,903	Mesa Colorada	14.5
N	Belisario Domínguez-Huentitán	29.95	1:19	9	1,107	Huentitán el Bajo	13.1
O	Río Nilo-Tetlán-Río Verde	36.16	1:27	9	1,026	Suc. Río Nilo	14.7
P	Tonalá-San Gaspar	51.65	1:07	9	396	San Gaspar	20.4
Q	Chapala-Ajijic-Jocotepec	173	2:59	13	1,268	Ajijic	52.8

Adicionalmente se deben considerar el número de unidades de transporte disponibles para llevar a cabo el reparto de los pedidos. Es importante tomar en cuenta tanto los que se tienen actualmente en Planta 1 como en las tiendas. Se muestra a continuación el número de unidades en cada área:

Tabla 16: Número de unidades de entrega

Área	Unidad	Número
Tiendas	1 Ton	11
Tiendas	Motos	2
Planta 1	1 Ton	8
Planta 1	2 Ton	1
Planta 1	4 1/2 Ton	3

Se determinó que la carga total de lo entregado a diario en Tiendas, sumado al peso de lo distribuido en Planta (por nuestro conducto y en espera) es de 53,455 kg por día. Para el cálculo de la carga de la Distribución Planta se tomó el promedio más una desviación estándar y se le sumó la carga que reparte Tiendas. Se muestra a continuación:

Tabla 17: Carga diaria de entrega

	# PEDIDOS/DIA	Kg./Día	Lts./Día	Km/Viaje/Día	# Viajes/Día	# PEDIDOS/DIA
Promedios:	71	24.827	19.638	47	18	30
Máximos:	131	51.612	235.447	87	28	93
Mínimos:	6	1.751	1.355	13	2	1
Desv.STD	29	10.619	23.625	11	6	13
PROM+1 D.STD	99	35.447	43.263	58	25	43

Actualmente, el 70% del surtido se realiza por la mañana y el 30% por la tarde. El comportamiento de la distribución de surtido es debido a que por la tarde se surten las rutas foráneas y no hay diferenciación de surtidores plaza y foráneos.

Con información del máster de clientes de la empresa se determinó que actualmente existen 3,641 clientes que compraron durante el 2012, los cuales se distribuyen en los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tonalá, Tlaquepaque,

Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán, El Salto, Chapala, Ajijic y Jocotepec; que son los municipios considerados para las rutas mapeadas.

Con el análisis realizado se determinó que para poder establecer rutas óptimas, es necesario llevar a cabo las siguientes acciones:

- Establecer la ubicación de los clientes de forma georeferenciada, para determinar cuántos de ellos pertenecen a cada ruta.
- Generar información de las rutas una vez que ya se tengan referenciados a los clientes, para analizar la frecuencia de pedidos de cada cliente.
- Con la información anterior, identificar los datos relevantes para realizar un modelo matemático de optimización de rutas.
- Proceder a la resolución del problema de optimización de rutas.
- Generar un documento que ayude a la generación de rutas óptimas de acuerdo a los pedidos generados diariamente, para entregarlos a los clientes.
- En una segunda etapa, se podría replicar la optimización en las rutas foráneas.

Conclusiones

En este último apartado se establecerán conclusiones generales de todos los capítulos presentados en la tesis de Industrias Químicas de Occidente.

Conclusiones

Resulta adecuado señalar que cada una de las soluciones, por sí sola no resuelven la problemática del almacén de Industrias Químicas de Occidente, sino que es el conjunto de todas las que hacen que el resultado permita entrever una mejora que, de ser implementada, ayudará a que el almacén mejore en su eficiencia global.

Al ser el almacén un sistema, se observó que no tenía caso optimizar el acomodo del producto si no se iniciaba con el pronóstico de la demanda, lo que a su vez llevó a identificar la necesidad de la documentación de las rutas de distribución.

Una vez obtenidas las soluciones a los problemas encontrados en el almacén de Industrias Químicas de Occidente, se procede a observar la sinergia entre una buena práctica de inventario, un pronóstico ajustado a las necesidades de la empresa y un óptimo acomodo de productos AA y A.

Es necesario tener un modelo de pronóstico adecuado debido a que la demanda de los productos que maneja una empresa rara vez será igual a la de otra empresa, por lo tanto se debe conocer el comportamiento de la demanda para escoger el mejor modelo de pronóstico.

El modelo matemático de programación lineal resulta indispensable para la obtención de la mejor solución ante todas las posibles soluciones sin importar los cambios que existan en el inventario. Resulta ser tan flexible el modelo que si llega a cambiar la importancia en los mismos productos se puede realizar el cambio con pequeños ajustes, pero sin tener que volver a formular nuevamente el problema.

Con los pronósticos realizados para prever la demanda de los siguientes 6 meses se puede correr el programa de optimización para observar cuál debe ser el acomodo de cada uno de los productos A y AA en la clasificación ABC.

El mapeo de las rutas de distribución ayudó a que se viera claramente que el siguiente paso está en la ubicación de los clientes, para que así se ajuste de mejor forma la demanda de productos con la oferta establecida de manera óptima en el almacén.

Bibliografía

- Arango Serna M.D., Z. J. (Noviembre 2012 de 2010). *Revista de Ingeniería*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2012, de SCIELO : http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932010000200007&lng=es&nrm=
- Ballou, R. H. (1991). El Producto. En *Logística Empresarial* (págs. 129-130). Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Buffa, E. S., & Taubert, W. H. (1984). Sistemas de producción e inventario: Planeación y Control. En E. S. Buffa, & W. H. Taubert, *Sistemas de producción e inventario: Planeación y Control* (3a. ed., págs. 119-120). México D.F. : Limusa.
- Carrasco-Gallego R., P.-C. C. (Octubre de 2008). Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de picking. *Dirección y Organización*, 36, 73-81.
- Dallari F., M. G. (2009). Design of order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1-2), 1-12.
- Dekker, R. R. (2004). Improving Order-Picking Response Time at Ankor's Warehouse. *Interfaces*, 34(4), 303-313.
- Ferrín Gutiérrez, A. R. (1999). Gestión de Stocks: Optimización de almacenes. En A. R. Ferrín Gutiérrez, *Gestión de Stocks: Optimización de almacenes* (2a. ed., págs. 40-43; 65-70). Madrid, España: Fundación Confemetal.
- Ling-feng, H. &. (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5/6), 626-637.
- Manotas Romero L., R. R. (2011). Desarrollo de un modelo heurístico para la optimización en el manejo de material en estibas en una bodega. *ITECKNE*, 8(2 (Artículos de Investigación e Innovación)), 132-146.
- Manzini, R. G. (2007). Design of a class based storage picker to product order picking system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(7/8), 811-821.
- Roodbergen K. S., C.-G. R.-C. (2008). Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de picking. *Dirección y Organización*, 36, 73-81.

- Roodbergen, K. &. (2006). A model for warehouse layout. *IIE Transactions*, 38(10), 799-811.
- Roodbergen, K. S. (2008). Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. *IIE Transactions*, 40(11), 1032-1045.
- Winston, W. L. (2011). Investigación de Operaciones. En W. L. Winston, *Aplicaciones y Algoritmos* (4a. ed., págs. 49-55; 227-240;262-266; 313-319; 474-475; 551; 1329-1331). México: CENGAGE Learnign.
- Zipkin, P. H. (2000). Foundations of Inventory Management. En P. H. Zipkin. USA: McGraw-Hill.

Anexos

Anexo 1 Tipo de Cambio

Mes	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
Enero	12.6656	13.0581	12.1350	13.0685	14.2025	10.8260	11.0155	10.5593
Febrero	12.8625	12.8639	12.1002	12.8253	14.9863	10.6855	11.1558	10.5470
Marzo	12.3605	12.7755	11.9016	12.3640	14.0250	10.6478	11.0034	10.9000
Abril	12.2133	12.9644	11.5093	12.2214	13.7235	10.4933	10.9308	11.0455
Mayo	12.9515	14.1563	11.5718	12.9514	13.0739	10.3260	10.7435	11.3618
Junio	-	13.3249	11.7186	12.8370	13.1397	10.3013	10.7721	11.1500
Julio	-	13.2744	11.7285	12.6513	13.2725	10.0295	10.9874	10.9853
Agosto	-	13.3753	12.3132	13.2578	13.3753	10.2458	11.0395	10.9280
Septiembre	-	12.8167	13.7057	12.5426	13.4915	11.0067	10.9518	11.0061
Octubre	-	13.0828	13.2033	12.3414	13.2189	12.6250	10.6648	10.7706
Noviembre	-	12.9905	13.5433	12.4577	12.9980	13.2325	10.8983	10.9765
Diciembre	-	12.8447	13.9603	12.3451	13.0670	13.9600	10.9185	10.8045

Anexo 2 Tiendas de Industrias Químicas de Occidente

SUCURSAL	COLONIA	MUNICIPIO
AGUA BLANCA	AGUA BLANCA INDUSTRIAL	ZAPOPAN
ARTESANOS	SN. MIGUEL DE HUENTITÁN	GUADALAJARA
ÁVILA CAMACHO	SAN MIGUEL DE MEZQUITÁN	GUADALAJARA
BASE AÉREA	EL TRIÁNGULO	ZAPOPAN
BATÁN	VICTOR HUGO	ZAPOPAN
BELENES	SAN ISIDRO EJIDAL	ZAPOPAN
BELISARIO	SECTOR LIBERTAD	GUADALAJARA
CENTRAL NUEVA	CIUDAD AZTLÁN	TONALÁ
CHAMIZAL	SAN ANDRÉS	GUADALAJARA
CONSTITUCIÓN	CONSTITUCIÓN	ZAPOPAN
COUNTRY CLUB	COUNTRY CLUB	GUADALAJARA
CRUZ DEL SUR	JARDINES DE LA CRUZ	GUADALAJARA
EL BRISEÑO	MARIANO OTERO	ZAPOPAN
EL SALTO	CENTRO	EL SALTO
EL TRECE	EL TRECE	EL SALTO
FELIPE ÁNGELES	SAN ISIDRO	GUADALAJARA
FIDEL VELÁZQUEZ	SANTA ELENA ALCALDE	GUADALAJARA

Continúa...

SUCURSAL	COLONIA	MUNICIPIO
HERMOSA PROVINCIA	LOMAS DEL GALLO	GUADALAJARA
HIDALGO	CENTRO	GUADALAJARA
JALISCO	JALISCO	TONALÁ
JUAN DE LA BARRERA	GUADALUPANA	TLAQUEPAQUE
JUSTO CORRO	CIUDAD UNIVERSITARIA	GUADALAJARA
LA VILLA DE GPE	VILLA DE GUADALUPE	ZAPOPAN
LAS HUERTAS	LAS HUERTAS	TLAQUEPAQUE
LAS JUNTAS	LAS JUNTAS	GUADALAJARA
LÁZARO CÁRDENAS	VALLE DEL ALAMO	GUADALAJARA
LINDA VISTA	LINDAVISTA	TLAQUEPAQUE
LOMA DORADA	LOMAS DEL CAMICHÍN	TONALÁ
LÓPEZ DE LEGASPI	FRACCIONAMIENTO COLÓN INDUSTRIAL	GUADALAJARA
LÓPEZ MATEOS	PINAR DE LA CALMA	ZAPOPAN
MINA SIGLO	BLANCO Y CUELLAR	GUADALAJARA
MUNGUÍA	SAGRADA FAMILIA	GUADALAJARA
OBLATOS	LAS HUERTAS	GUADALAJARA
PLANTA	DEL FRESNO	GUADALAJARA
PLAZA DEL SOL	RINCONADA DEL SOL	ZAPOPAN
RANCHO NUEVO	RANCHO NUEVO	GUADALAJARA
REVOLUCIÓN	ELECTRICISTA	GUADALAJARA
RUBÉN DARÍO	PROVIDENCIA	GUADALAJARA
SAN AGUSTÍN	SAN AGUSTÍN	TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA
SANTA FE	SAN JOSÉ DEL VALLE	TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA
SANTA MARÍA DEL PUEBLITO	SANTA MARÍA DEL PUEBLITO	ZAPOPAN
STA. MARÍA	SANTA MARÍA TEQUEPEXPAN	TLAQUEPAQUE
TABACHINES	TABACHINES	ZAPOPAN
TEPEYAC	JARDINES TEPEYAC	ZAPOPAN
TESISTÁN	SAN FRANCISCO TESISTÁN	ZAPOPAN
TOLSÁ	DEL FRESNO	GUADALAJARA
TONALÁ	CENTRO	TONALÁ
VENTA DEL ASTILLERO	VENTA DEL ASTILLERO	ZAPOPAN