



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**FORTALECIMIENTO DEL SUMINISTRO DE  
MATERIA PRIMA DE UNA EMPRESA DE  
MANUFACTURA DE COMPONENTES  
AUTOMOTRICES DE LA CIUDAD DE TOLUCA**

**TRABAJO TERMINAL DE GRADO**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

**P R E S E N T A**

**ING. ERIKA MONTES DE OCA SÁNCHEZ**

**TUTOR ACADÉMICO: M. EN I. GASTON VERTIZ CAMARON**

**TUTOR ADJUNTO 1: DRA. LOURDES LOZA HERNÁNDEZ**

**TUTOR ADJUNTO 2: M. EN I. SERGIO VÁZQUEZ ARANDA**



**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

**NOVIEMBRE 2018**

## Índice

Dedicatorias .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice .....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	viii
Índice de cuadros.....	ix
Resumen .....	x
Abstract.....	xi
Prólogo .....	xii
Introducción .....	1
Justificación.....	2
Alcance y limitaciones .....	3
Hipótesis.....	4
Preguntas de Investigación .....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos .....	4
Estructura del trabajo terminal de grado .....	5
1. Situación actual de la planta.....	6
1.1 Antecedentes.....	6
1.2. Descripción de los componentes .....	11
2. Marco teórico.....	13
2.1 Marco para la gestión de inventarios .....	13

2.1.1	Definición de inventario .....	13
2.1.2	Gestión de inventarios .....	14
2.1.3	Clasificación de inventarios .....	16
2.1.4	Factores importantes en la gestión de inventarios .....	17
2.1.4.1	Costos .....	18
2.1.4.2	Tiempo de entrega (L) .....	19
2.1.4.3	Demanda .....	20
2.2	Modelos de inventarios .....	21
2.2.1	Modelos de inventario determinísticos .....	22
2.2.1.1	Algoritmo de Wagner-Whitin .....	24
2.2.2	Modelos de inventario estocásticos .....	27
2.3	Pronósticos .....	28
2.3.2	Clasificación de los pronósticos .....	28
2.3.3	Análisis de patrones en las series de tiempo .....	30
2.3.4	Medición del error de pronóstico .....	34
2.4	Revisión de la literatura .....	35
3.	Metodología para el desarrollo del proyecto .....	39
3.1	Análisis de la estructura actual del control de inventario en almacén .....	40
3.1.1.	Estructura actual del inventario .....	40
3.1.2	Identificación de factores que intervienen en el control de inventario .....	42
3.2	Selección del método de solución .....	43
3.2.1	Aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin al caso de estudio .....	44
3.3	Política de inventario resultante para todos los productos .....	54
3.4	Escenarios propuestos .....	56
3.5	Comparación de resultados .....	59

3.6 Recomendaciones.....	64
Conclusiones .....	70
Referencias.....	73
Anexos.....	77

## Índice de figuras

<b>Figura 1.1.</b> Modelo 3D del componente B. ....	6
<b>Figura 1.2.</b> Modelo 3D del componente C. ....	6
<b>Figura 1.3.</b> Diagrama de contexto de las áreas involucradas a cargo de las materias primas. ....	7
<b>Figura 2.1.</b> Clasificación de la demanda de acuerdo a su comportamiento en el tiempo. ....	20
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama de la metodología para el desarrollo del proyecto. ....	39
<b>Figura 3.2.</b> Comparativa de costos con la política propuesta de Wagner-Whitin y la empresa. ....	62
<b>Figura 3.3.</b> Comparativa de costos con la política propuesta de Wagner-Whitin escenario 1 y la empresa. ....	63
<b>Figura 3.4.</b> Comparativa de costos con la política propuesta de Wagner-Whitin escenario 2 y la empresa. ....	63
<b>Figura 3.5.</b> Gráfica de demanda mensual de la materia prima del componente B y C. ....	65

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.1.</b> Estatus de proveedores que surten varias materias primas. ....	11
<b>Tabla 1.2.</b> Materia prima del componente B. ....	12
<b>Tabla 1.3.</b> Materia prima del componente C. ....	12
<b>Tabla 1.4.</b> Materia prima para ambos componentes. ....	12
<b>Tabla 3.1.</b> Calculo del redondeo para STD PACK de la MP3 del componente B. ....	45
<b>Tabla 3.2.</b> Política óptima de pedido al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin. ....	52
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados de la política al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin. ....	53
<b>Tabla 3.4.</b> Resultados de la política al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin sin STD PACK. ....	54
<b>Tabla 3.5.</b> Resultados de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en las materias del componente B. ....	55
<b>Tabla 3.6.</b> Resultados de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en las materias primas del componente C. ....	55
<b>Tabla 3.7.</b> Resultados de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en las materias primas de ambos componentes. ....	56
<b>Tabla 3.8.</b> Procedimiento de cálculo de índices estacionales de MP3_B. ....	68

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 3.1.</b> Política de abastecimiento aplicada por la empresa.....	41
<b>Cuadro 3.2.</b> Aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en la materia prima 3 del componente C.....	47
<b>Cuadro 3.3.</b> Resultados del algoritmo Wagner-Whitin para el escenario 1. ....	57
<b>Cuadro 3.4.</b> Resultados del algoritmo Wagner-Whitin para el escenario 2. ....	58
<b>Cuadro 3.5.</b> Comparativa de pedidos resultantes en los distintos escenarios al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin y la política aplicada por la empresa.....	60

## Resumen

El control de inventario es esencial para muchas organizaciones, fallas en el manejo puede generar un impacto negativo tanto para el proceso operativo, como en los costos asociados a él. El propósito de este trabajo terminal de grado, es evaluar la política de inventario de una empresa manufacturera de componentes automotrices en Toluca y determinar una propuesta que ayude a reducir los costos de almacenamiento y pedido asociados a la compra de su materia prima. El análisis tanto de la situación actual como de la forma en la que actualmente la empresa realiza sus actividades permitió realizar una comparación entre lo que hace actualmente la empresa y los beneficios que esta obtuvo con la aplicación de un modelo de control de inventario. Aplicando el algoritmo de Wagner-Whitin existe una reducción de \$125,477.85 dólares anuales en los costos, además de generar una política de inventario diferente.

**Palabras clave:** Suministro de materia prima, gestión de inventarios, algoritmo de Wagner-Whitin.

## **Abstract**

The inventory control is essential for many organizations, management failures have a negative impact on the operating process and the costs associated with it. The purpose of this terminal work is to assess the inventory policy of a manufacturing company of automotive components in Toluca and determine a proposal that helps to reduce the holding and ordering costs associated with the purchase of its raw material. The analysis of the actual situation and the way in which the company currently does its activities allowed a comparison between what the company is currently doing and the benefits that the company obtained with the application of an inventory control model. Applying the Wagner-Whitin algorithm there is a reduction of \$125,477.85 dollars per year in the costs, in addition to generating a different inventory policy.

**Keywords:** Raw material supply, inventory management, Wagner-Whitin algorithm.

## **Prólogo**

El propósito principal de una empresa radica en generar utilidades, esto no puede lograrse si las necesidades de sus clientes no son satisfechas y además si algún eslabón de la cadena de suministro que la conforma falla. Por ello las compañías deben ser conscientes de las decisiones que deberán enfrentar para alcanzar el éxito.

Una de esas decisiones inicia en la planeación de suministros para elaborar el producto, desde ¿a quién se debe comprar?, ¿cuándo? y ¿cuánto pedir? son preguntas importantes que los involucrados en la administración de inventarios deben enfrentar. De aquí surge la problemática de una empresa manufacturera de componentes automotrices, quién se ve en la necesidad de reducir el gasto generado por el almacenamiento y pedido de sus insumos.

Proporcionar a la empresa una propuesta de cuál es el mejor modelo de inventario que se adopta a sus necesidades y que además, ayude al objetivo de disminuir sus costos de inventario es el alcance de este trabajo terminal de grado.

El trabajo está dirigido a personas encargadas de la gestión de inventarios o bien a aquellas relacionadas, sin embargo tampoco se limita a solo estas, ya que cualquier persona interesada en el tema puede consultarla.

La estructura del trabajo se conforma por 3 capítulos, en los que se describe la situación actual de la empresa, el marco teórico y la metodología utilizada para lograr el objetivo planteado. Finalmente una sección de conclusiones donde se da a conocer el alcance logrado.

## **Introducción**

En los últimos años la industria automotriz ha crecido en México, prueba de ello son las próximas y recientes aperturas de plantas de diversas empresas automotrices. La competitividad existente dentro de este sector implica tener procesos bien definidos, estrategias que ayuden al cumplimiento de objetivos, cooperación y coordinación dentro de los distintos actores de la cadena de suministro para satisfacer las necesidades del cliente.

En el foro de diálogo realizado con el equipo de cadena de suministro y los usuarios de materia prima, se encontró que fallas en las cantidades de los puntos de re-orden son críticas, resultando en paros de línea de producción, y en algunos otros casos cantidades excesivas de materia prima en almacén, provocando cierto caos en la administración del inventario. Además, se halló que parte del problema en las cantidades del volumen en inventario, se debe a que las decisiones son basadas en estimaciones realizadas por el personal a cargo, sin que exista soporte de algún método cuantitativo; de acuerdo a evidencias mostradas por la empresa, las decisiones han generado un incremento entre 15 y 25 % del presupuesto asignado a la compra de materia prima. Aunado a esto, se mantiene material obsoleto que no se descuenta de las cantidades de inventario porque se cree que todavía está en buenas condiciones.

Los inventarios mal administrados crean problemas financieros significativos para una organización empresarial que se traduce en un exceso de inventario o escasez de material. La gestión correcta del inventario siempre se compromete a crear un plan de compras que garantice que los artículos estén disponibles cuando se necesiten y que se mantenga al tanto del inventario existente y su utilización. (Nallusamy et al., 2017)

## Justificación

Los métodos científicos para el control de inventarios pueden dar una ventaja competitiva significativa. Para Axsäter (2006) la importancia estratégica de esta área es hoy plenamente reconocida por la Administración. La inversión total en inventarios es enorme y el control del capital ligado a la materia prima, los trabajos en curso y los productos terminados ofrecen, en general, un potencial muy importante de mejora. Los inventarios no pueden desacoplarse de otras funciones, por ejemplo, la compra, la producción y la comercialización. Por lo tanto, el objetivo del control de inventario es normalmente equilibrar objetivos en conflicto. Un objetivo es, por supuesto, mantener los niveles de stock para hacer dinero disponible para otros fines.

Como se menciona en el párrafo anterior, el control de inventario puede dar una ventaja competitiva a la empresa y con este trabajo terminal de grado se pretende dar una propuesta de solución, que permita el fortalecimiento del suministro de materia prima en la planta de componentes automotrices, buscando reducir el presupuesto asignado a su aprovisionamiento, a través de la implementación de los conocimientos adquiridos en la maestría en ingeniería de la cadena de suministro.

Cuando se habla de control de inventario difícilmente se puede dejar a un lado el tema de demanda, ya que ambos conceptos van de la mano para eliminar las dificultades que se presentan en torno a este tema. Un mal análisis del comportamiento de la demanda se verá reflejado en los costos operativos de la empresa, evitando que pueda alcanzar sus objetivos.

La importancia de la reducción de costos en la parte de control de inventarios es un área de gran oportunidad, permitiendo a la empresa mejorar sus procesos sin alterar la calidad y la rapidez de la satisfacción de su demanda buscando siempre la mejora continua.

## **Alcance y limitaciones**

El presente trabajo se enfoca en la directriz logística de inventario, ya que la empresa incrementa sus costos, para mantener los niveles de inventario necesarios en la producción de sus componentes.

La reducción del presupuesto asignado a la compra de materia prima de la planta de estudio, sin importar su magnitud, busca generar beneficios en costos por sobre inventario, manejo de material y almacenaje. De acuerdo a datos proporcionados por la empresa, se sabe que el costo de materia prima para la fabricación de los componentes automotrices, es uno de los mayores costos logísticos dentro de su cadena de suministro. Este hecho, se debe a la falta de proveedores que puedan satisfacer la demanda exigida por el mercado y porque en algunos casos son proveedores únicos, generando elevación de costos en dichos productos.

Un factor significativo que impide la apertura a un número mayor de proveedores, es el cumplimiento con políticas de calidad requeridas en las materias primas utilizadas en la fabricación de los componentes automotrices; por ejemplo, solo existe un proveedor capaz de proporcionar el aluminio en estado puro como es requerido para el proceso de manufactura de los componentes. Otro caso es el de los soportes, sin embargo, aquí el problema no es calidad, sino de tiempos de entrega del material; el proveedor que actualmente surte el producto se encuentra ubicado en Estados Unidos demorando 14 días para realizar su entrega, mientras un proveedor que se contempló antes de la selección del actual, se encuentra ubicado en Alemania demorando su entrega a 2 meses y además incrementando costos de venta por el modo de transporte (barco) utilizado para llegar al punto requerido.

## **Hipótesis**

La aplicación de un modelo matemático de control de inventarios, puede reducir en al menos 10% el presupuesto utilizado para la compra de materia prima y disminuir el exceso de unidades en inventario de la planta de estudio.

## **Preguntas de Investigación**

1. ¿Cuáles son los factores generales que afectan el control de inventario dentro del almacén de la planta?
2. ¿Es posible reducir el presupuesto asignado a la compra de materia prima de los productos B y C manufacturados en la empresa de estudio, a través de la aplicación de un modelo matemático que ayude a calcular el pedido óptimo?
3. ¿Cuáles son los factores que permiten construir el modelo matemático para el control de inventario?

## **Objetivo General**

Reducir en al menos 10% el costo total (almacenamiento y pedido) involucrado en la compra de materia prima de la planta de estudio, a través de la política óptima de abastecimiento de un año de producción.

## **Objetivos Específicos**

1. Identificar y analizar la estructura actual del control de inventario en almacén.
2. Identificar factores que intervienen en el control de inventario.
3. Definir el modelo matemático que permita una gestión óptima del inventario de materia prima para la fabricación de los componentes B y C.
4. Verificar y validar los resultados del modelo.

## **Estructura del trabajo terminal de grado**

En el primer capítulo se describe la situación actual de la empresa, las áreas que están a cargo de que la materia prima llegue en tiempo a línea de producción, el tipo de proveedores, los procesos por los que pasa el producto antes de llegar al punto de uso, una breve descripción de como la materia prima es enviada a planta y cuál es la materia prima utilizada en la producción de los componentes automotrices.

En el segundo capítulo se tienen las bases teóricas para el desarrollo del trabajo, teniendo la revisión bibliográfica de temas relacionados a la gestión de inventarios, tipos de demanda, modelos de inventario, métodos de pronóstico.

La metodología para el desarrollo del proyecto se detalla en el tercer capítulo, en él se analiza la situación actual de la empresa obteniendo datos mensuales para identificar el comportamiento de la demanda en el tiempo y determinar el modelo de inventario que mejor se adapta a la situación de la empresa. Además se presentan dos escenarios modificando costos de almacenamiento y pedido en el modelo de inventario propuesto, con el objetivo de realizar un comparativo entre los resultados obtenidos con la información proporcionada por la empresa y los escenarios propuestos.

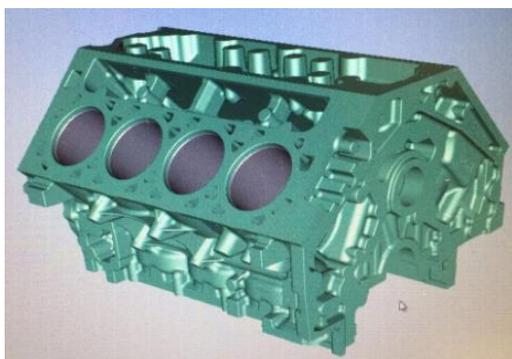
En la sección de recomendaciones se presenta una propuesta para utilizar métodos cuantitativos de pronóstico en la identificación de los patrones de demanda y sugerir un método que la empresa pueda utilizar en el caso de que necesite realizar un pronóstico de su demanda y no depender de los datos que el área financiera le proporciona.

## 1. Situación actual de la planta

En este capítulo, se describen procedimientos actuales que sigue la planta en la adquisición de materia prima, procesos por los cuales debe pasar antes de ser utilizada y las materias primas que son utilizadas en la manufactura de los componentes. Todo lo mencionado en el capítulo son datos proporcionados por la empresa.

### 1.1 Antecedentes

En la ciudad de Toluca se encuentra ubicada una planta dedicada a la manufactura y ensamble de componentes automotrices. El objeto de estudio de la presente investigación se concentra en una de las actividades de la empresa, la cual consiste en la compra de la materia prima utilizada en la manufactura de dos componentes, componente B (figura 1.1) y componente C (figura 1.2) que posteriormente formaran parte del motor de un automóvil. (El nombre de los componentes fue cambiado por razones de confidencialidad para la empresa).



**Figura 1.1.** Modelo 3D del componente B.

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

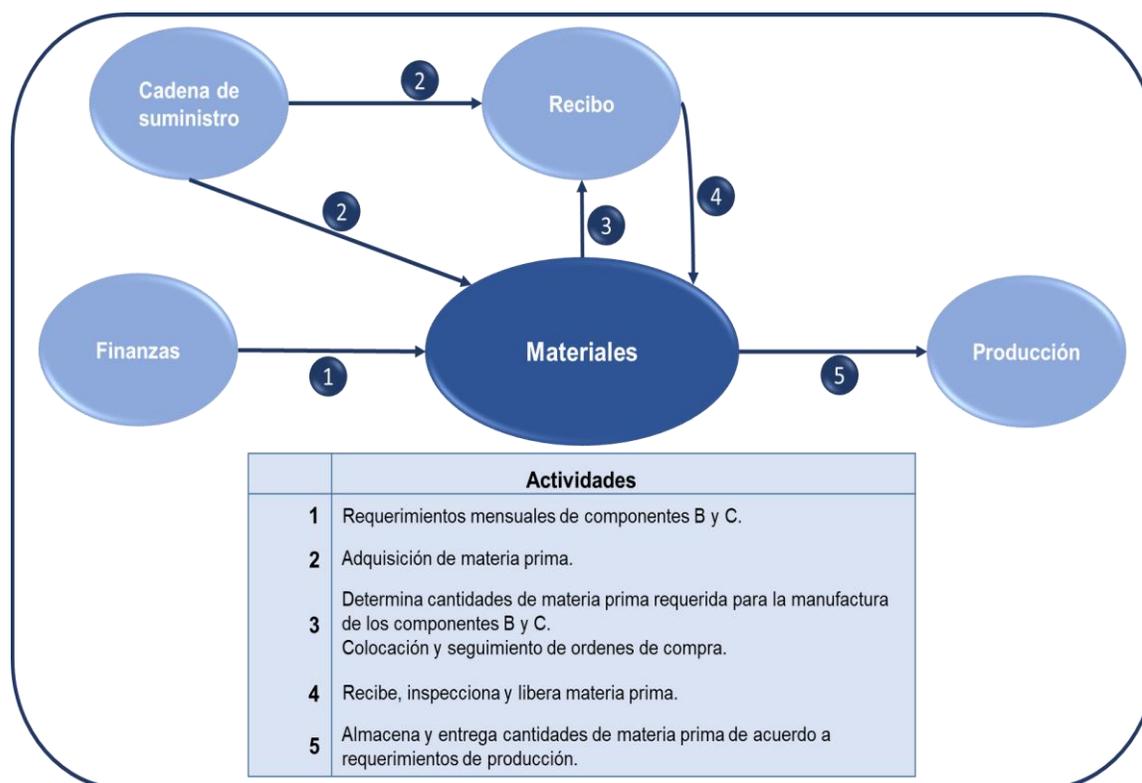


**Figura 1.2.** Modelo 3D del componente C.

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

El proceso previo a la manufactura de dichos componentes está a cargo de cuatro áreas, que la empresa ha nombrado como: finanzas, cadena de suministro, recibo y

materiales (ver figura 1.3). Cada una de ellas desempeña un papel importante dentro del proceso de adquisición de la materia prima, un fallo entre estas áreas puede generar problemas mayores a la empresa.



**Figura 1.3.** Diagrama de contexto de las áreas involucradas a cargo de las materias primas. (Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

La primera actividad mostrada en el diagrama de contexto de la figura 1.3, está a cargo del área de finanzas, ellos son los encargados de proporcionar los requerimientos mensuales de los componentes B y C al área de materiales. La demanda de componentes es establecida semestralmente, de este modo las necesidades del primer semestre, son dadas a conocer en el mes de octubre y el segundo se presenta en mayo (por ejemplo, la demanda del año 2017 se dio a conocer en octubre de 2016 y mayo de 2017).

La segunda actividad del diagrama es realizada por el área de cadena de suministro, la cual es dividida en 2 tareas; la primera, consiste en la selección del proveedor, a

través de una matriz generada por el departamento de calidad proveedores, cada proveedor recibe una calificación basada en su desempeño (por ejemplo: cantidad de reclamos, mala calidad, mal servicio, entregas a tiempo en planta, comportamiento, problemas con la materia prima, etc.); una vez generada la matriz, son seleccionados entre tres y cuatro proveedores, invitándolos a participar en una competencia de cotización, donde el proveedor que ofrece un mejor costo, menores tiempo de entrega y calidad del producto es seleccionado (el proceso es repetitivo para cada una de las materias primas utilizadas en la manufactura de los componentes ya mencionados). La segunda tarea es la elaboración del contrato, generalmente el contrato es realizado por un año, debido a la incertidumbre del proceso de ventas en la industria automotriz y la renovación anual del contrato se basa en el volumen de vehículos pronosticados para las ventas. Algunas de las consideraciones que incluye son:

- Costos por tonelada de materia prima.
- Asignación de quién pagará el transporte.
- Selección del modo de transporte a utilizar.
- Satisfacción de los requerimientos de la empresa en cuestión, por ejemplo, el transporte usado debe cumplir con las condiciones físicas y mecánicas en buenas condiciones (las unidades deben ser recientes, no mayores a 10 años), la persona que realizará la entrega de materia prima debe ser capacitada por la empresa, obtener las licencias necesarias y estar en condiciones óptimas de salud (comprobado a través de la aplicación de exámenes médicos).
- Identificación del empaque en que se transportara la materia prima.

Al terminar tanto la selección de los proveedores como la elaboración de los contratos, el área de cadena de suministro debe dar a conocer los resultados de la selección al área de materiales para que pueda realizar los distintos pedidos de materia prima y al área de recibo para estar enterado de los requerimientos que debe revisar cuando los pedidos lleguen a planta.

La actividad tres inicia una vez que el área financiera da a conocer los requerimientos de componentes B y C al área de materiales, siendo esta la encargada de calcular las

cantidades necesarias de materia prima utilizadas para la manufactura de los componentes ya mencionados, realizar los pedidos de materia prima a los distintos proveedores y dar seguimiento al pedido hasta que llegue a la empresa.

Una vez que la materia prima llega a planta la actividad cuatro da inicio, y el área de recibo es la encargada de revisar cumplimiento de la hora programada de llegada, condiciones de transporte, sellos naranja sin violación (sello solicitado por la empresa), permisos del conductor y las facturas de la materia prima. Previo a la descarga del producto, se inspecciona que cumpla con los requerimientos de empaque establecidos en el contrato, material completo y sin daños.

Terminada la verificación de los requerimientos de llegada de la materia prima, y sí se establece que se encuentra en orden, el área de materiales descarga producto y lo lleva a almacén iniciando la actividad 5 de la figura 1.3. La materia prima es colocada en la zona amarilla (pendiente de inspección o material de prueba), para realizar la inspección visual o de laboratorio según corresponda. La inspección visual, utiliza ayudas visuales que le indican al personal de recibo el criterio de aceptación o rechazo del material, cabe mencionar que este criterio solo es cualitativo. En el otro tipo de inspección, pequeñas muestras son llevadas al laboratorio para realizar pruebas y verificar que la materia prima cumpla con las características físico-químicas establecidas. Al término de las inspecciones, el material es aceptado o rechazado; en caso de ser rechazado, el material se coloca en la zona de color rojo (material fuera de especificación), notificando al proveedor el incumplimiento de las especificaciones definidas. Sí es aceptado, se coloca una etiqueta de aceptación (la cual tiene fecha de recibo y cantidad de material) y se envía a la zona verde para quedar disponible al punto de uso.

Es importante destacar que la empresa solo cuenta con un único almacén de materias primas, dividido en áreas delimitadas por colores mencionados en el párrafo anterior; cada una de estas áreas es utilizada para distribuir las diferentes materias primas

requeridas en el proceso de manufactura de los componentes. Si bien hasta el momento no se tiene problemas con el espacio para almacenamiento, sí para el manejo de material debido a las altas existencias del mismo.

Las materias primas son compradas a 14 proveedores tanto nacionales como extranjeros, provenientes de Estados Unidos. La importación de materia prima internacional está a cargo de UPS y Dicex, la nacional es por parte del mismo proveedor. Las aduanas utilizadas para el cruce de mercancía del extranjero a México son: Ciudad Juárez, Piedras Negras, Colombia, Matamoros, Nuevo Laredo, Monterrey y Reynosa y el transporte utilizado para su aprovisionamiento a la planta de uso es a través de ferrocarriles, camiones y combinación de avión – camión.

Cabe mencionar que toda la materia prima extranjera se concentra en el depósito fiscal designado por la empresa de estudio y de ahí es enviado según las necesidades de la planta. El envío de materia prima no es único, es decir, pueden enviarse distintas materias primas para distintas plantas en un mismo vehículo. Además de ello existen proveedores que surten varias materias primas a la empresa por lo cual algunas de ellas son enviadas de forma conjunta (ver tabla 1.1).

**Tabla 1.1.** Estatus de proveedores que surten varias materias primas.

PROVEEDOR	NÚMERO DE PARTE	
Proveedor 1	MPB_1	Llegan juntos
	MPB_2	
	MPB_3	A veces
	MP2_C	
	MP3_C	No se permite revolver este material
	MP5_C	Llegan juntos
	MP6_C	
Proveedor 3	MPB_5	Llegan juntos
	MP1_A	
	MP2_A	
	MP4_A	Llegan juntos
	MP5_A	
Proveedor 5	MPB_7	Llegan juntos
	MP4_C	

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## 1.2. Descripción de los componentes

Parte de la producción de la empresa de estudio se basa en dos componentes automotrices, componente B y componente C, para la manufactura de estos es necesario de 25 materias primas; de las cuales 12 son para el componente B, 7 del componente C y 6 para ambos. La adquisición de estas materias primas es a cargo de dos empleados de la empresa.

Las tablas 1.2, 1.3, y 1.4 presenta la identificación que se le dará a las diferentes materias primas para este trabajo, tiempos de resurtido, STD PACK (abreviatura dada a la cantidad de producto que debe contener un saco, caja o bote enviado del proveedor a la planta), U/M (unidad de medida que se le asignó a cada materia prima para su manejo) y su proveedor. (Tanto el número de parte de la materia prima, como el nombre del proveedor fueron modificados por razones de confidencialidad)

**Tabla 1.2. Materia prima del componente B.**

	NÚMERO DE PARTE	STD PACK	U/M	LEAD TIME (DÍAS)	Proveedor
1	MPB_1	1300	KG	13	Proveedor 1
2	MPB_2	1300	KG	13	Proveedor 1
3	MPB_3	1198	KG	12	Proveedor 1
4	MPB_4	1500	LB	4	Proveedor 2
5	MPB_5	182	KG	15	Proveedor 3
6	MPB_6	400	PZA	4	Proveedor 4
7	MPB_7	392	PZA	13	Proveedor 5
8	MPB_8	1000	PZA	14	Proveedor 6
9	MPB_9	432	PZA	16	Proveedor 7
10	MPB_10	1000	KG	12	Proveedor 8
11	MPB_11	300	KG	3	Proveedor 11
12	MPB_12	1000	KG	12	Proveedor 17

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla 1.3. Materia prima del componente C.**

	NÚMERO DE PARTE	STD PACK	U/M	LEAD TIME (DÍAS)	PROVEEDOR
1	MP1_C	1450	KG	10	Proveedor 14
2	MP2_C	1198	KG	12	Proveedor 1
3	MP3_C	18	KG	14	Proveedor 1
4	MP4_C	392	PZA	13	Proveedor 5
5	MP5_C	1300	KG	13	Proveedor 1
6	MP6_C	1300	KG	13	Proveedor 1
7	MP7_C	2000	LB	8	Proveedor 18

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla 1.4. Materia prima para ambos componentes.**

	NÚMERO DE PARTE	STD PACK	U/M	LEAD TIME (DÍAS)	PROVEEDOR
1	MP1_A	1000	KG	15	Proveedor 3
2	MP2_A	800	KG	15	Proveedor 3
3	MP3_A	35	LB	14	Proveedor 13
4	MP4_A	576	KG	13	Proveedor 3
5	MP5_A	1250	KG	13	Proveedor 3
6	MP6_A	1000	KG	16	Proveedor 16

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## **2. Marco teórico**

En el capítulo se presentan algunas definiciones sobre temas relacionados a inventarios, así como en que consiste su gestión y los tipos existentes en la literatura. También se abordan conceptos necesarios para los distintos modelos de inventarios y algunos métodos de pronóstico utilizados por las industrias. Además de una breve revisión de la literatura relaciona al tema.

Ravindran y Warsing Jr. (2013) mencionan que el costo de las materias primas representa entre el 40% y el 60% del costo de producción en la mayoría de las industrias manufactureras. De hecho, para la industria automotriz, el costo de componentes y piezas de proveedores externos puede superar el 50% de las ventas (Wadhwa y Ravindran, 2007).

### **2.1 Marco para la gestión de inventarios**

#### **2.1.1 Definición de inventario**

Inventario son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Por convención, el término inventario de manufactura se refiere a las piezas que contribuyen o se vuelven parte de la producción de una empresa. El inventario de manufactura casi siempre se clasifica en materia prima, productos terminados, componentes de parte, suministros y trabajo en proceso. En los servicios, el término inventario por lo regular se refiere a los bienes tangibles a vender y los suministros necesarios para administrar el servicio. Un sistema de inventario es el conjunto de políticas y controles que vigilan los niveles del inventario y determinan aquellos a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y qué tan grandes deben ser los pedidos. (Chase et al., 2009)

Para Ballou (2004) “los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa”.

### **2.1.2 Gestión de inventarios**

La gestión de inventarios se deriva de la importancia que tienen las existencias para la empresa y, por lo tanto, la necesidad de administrarlas y controlarlas. Su objetivo consiste fundamentalmente en mantener un nivel de inventario que permita, a un mínimo costo, un máximo de servicio a los clientes. Los motivos básicos para crear inventarios son: protegerse contra incertidumbres, permitir la producción y compra bajo condiciones económicamente ventajosas, cubrir cambios anticipados en la demanda y la oferta y mantener el tránsito entre los puntos de producción y almacenamiento. (Parada, 2009)

La gestión de inventario puede ser capturada de forma concisa en la siguiente política: "Antes de que se acabe, obtenga más", Aunque el hecho es conciso, la declaración captura la esencia del problema básico de la gestión de inventario e inmediatamente solicita una respuesta a dos preguntas [...] "¿cuándo?" y "¿cuánto?". (Ravindran y Warsing Jr., 2013)

El manejo de inventario para Ballou (2004) implica equilibrar la disponibilidad del producto (o servicio al cliente), por una parte, con los costos de suministrar un nivel determinado de disponibilidad del producto, por la otra. El transporte y el mantenimiento de inventarios son las actividades logísticas que principalmente absorben los costos. La experiencia ha demostrado que cada una de ellas representará entre el 50 y 66% de los costos logísticos totales.

Hillier y Lieberman (2010) describen que a través de los siguientes cuatro pasos:

1. Formular un modelo matemático que describa el comportamiento de inventarios.
2. A partir del modelo elaborar una política óptima.
3. Mantener registro de los niveles de inventario utilizando un sistema de procesamiento de información computarizado.
4. Recurriendo a los registros, utilizar la política óptima de inventarios para señalar cuánto y cuándo conviene reabastecer.

La administración científica de inventarios responde a la inquietud de las compañías acerca de cómo utilizar la investigación de operaciones, para mejorar sus políticas de inventarios y definir cuándo deben solicitar y en qué cantidad.

Se hace indispensable que las compañías presten interés en la administración de inventarios, de manera que permitan reducir costos operacionales y aumentar la rentabilidad de las empresas, velando por la satisfacción de los clientes, ofreciendo mejores niveles de servicio y respondiendo a los requerimientos de posventa. (Arango et al., 2013)

Todas las empresas (incluidas las operaciones justo a tiempo) mantienen un suministro de inventario por las siguientes razones:

- Mantener la independencia entre las operaciones.
- Cubrir la variación en la demanda.
- Permitir flexibilidad en la programación de la producción.
- Protegerse contra la variación en el tiempo de entrega de la materia prima.
- Aprovechar los descuentos basados en el tamaño del pedido.

Por cada una de las razones mencionadas anteriormente, es necesario tener presente que un inventario es costoso y que, por lo regular, las grandes cantidades no son recomendables. (Chase et al., 2009)

Vidal et al. (2004) comentan que las causas fundamentales para la necesidad del mantenimiento de inventarios en cualquier empresa son, inicialmente, el desfase que existe entre la demanda de los consumidores y la producción o suministro de dichos productos y, principalmente, las fluctuaciones aleatorias de la demanda y de los tiempos de reposición en la cadena de suministro [...]. El problema en la mayoría de las organizaciones locales radica principalmente en que los inventarios de seguridad y sus correspondientes puntos de reorden o inventarios máximos se determinan exclusivamente con base en el promedio de la demanda, ignorando su variabilidad y la variabilidad de los tiempos de reposición [...]. Sólo en algunas ocasiones los inventarios de seguridad y los puntos de reorden (o los inventarios máximos) calculados únicamente con base en la demanda promedio, coinciden con el valor adecuado obtenido como resultado de un análisis estadístico formal. Es un error conceptual grave, por lo tanto, definir inventarios de seguridad de los productos a partir de su demanda promedio en forma exclusiva.

### **2.1.3 Clasificación de inventarios**

Los sistemas de producción necesitan básicamente tres tipos de inventarios y cualquiera de ellos puede existir en cualquier etapa de la ruta de un producto desde su origen hasta que llega a mano de los usuarios finales. Estos tipos son:

- Inventario de materias primas: su necesidad se basa en la existencia del material cuando se requiere en el punto de uso y evitar eventos poco deseables como escasez de los bienes debido a sequías o factores humanos, que pueden interrumpir el proceso de producción si no se cuenta con un inventario suficiente.
- Inventario de trabajo en proceso (productos semielaborados): Al igual que el primer tipo, su necesidad se encuentra en la incertidumbre. Al ser la entrada de una etapa siguiente en el proceso productivo, los tomadores de decisiones deben prever inexistencias por fallas en programación, de máquinas, etc.

- Inventario de producto terminado: es el tipo de inventario que implica mayor variabilidad de los tres mencionados. Esto debido al poco control que el fabricante tiene sobre la demanda del producto, pues a menudo es incierta y aunque se tengan pronósticos, no siempre la realidad se acerca a la predicción. (Ravindran, 2008)

En el Operation Research Management of Science, Ravindran (2008) divide a los inventarios en existencias de ciclo, inventarios de tránsito y existencias de seguridad.

- La cantidad de inventario disponible cuando ordena en lotes se conoce como inventario de ciclo. Se usa para cumplir con los patrones de demanda normales.
- Por otro lado, las existencias de seguridad se refieren al inventario promedio disponible para amortiguar las incertidumbres en la oferta y la demanda y variabilidad en los tiempos de entrega.
- Los inventarios (ya sean materias primas, productos semielaborados o terminados) pasan bastante tiempo en tránsito entre las distintas etapas de la cadena de suministro y se conocen como inventarios de tránsito. Dichos inventarios no se contabilizan físicamente a pesar de haber sido pedidos y enviados.

#### **2.1.4 Factores importantes en la gestión de inventarios**

En la gestión de inventarios existen diversos factores que contribuyen al eficiente o deficiente desempeño de los sistemas de inventario. A continuación se describen algunos de ellos, dado que estos se utilizan para generar los distintos modelos de inventarios.

### **2.1.4.1 Costos**

#### **Costo variable de la unidad o valor unitario (v)**

El valor unitario de un artículo se expresa en dólares/pesos por unidad. Para un comerciante, es simplemente el precio (incluido el flete) pagado al proveedor, más cualquier costo incurrido al prepararlo para la venta. Puede depender, de descuentos por cantidad o del tamaño de la reposición. Para los productores, el valor unitario de un artículo suele ser más difícil de determinar. Sin embargo, una cosa es cierta; rara vez es la contabilidad convencional o el "valor en libros" asignado en la mayoría de las organizaciones. El valor de un elemento idealmente debería medir la cantidad real de dinero (costo variable) que se ha gastado en el SKU (unidad de mantenimiento en existencia) para que esté disponible para su uso (ya sea para satisfacer la demanda de los clientes o para uso interno como un componente de algunos otros artículos). (Silver et al., 1998)

#### **Costo de almacenamiento (h)**

Al mantener existencias, tenemos un costo de oportunidad para el capital inmovilizado en el inventario. Esta parte del costo de mantenimiento debe, en principio, estar estrechamente relacionada con el rendimiento de una inversión alternativa. Sin embargo, no es necesariamente igual al rendimiento esperado porque también debemos tener en cuenta los riesgos financieros asociados con las inversiones alternativas. El costo de capital generalmente se considera la parte dominante del costo de mantenimiento. Otras partes pueden ser manipulación de materiales, almacenamiento, daños y obsolescencia, seguros e impuestos. Todos los costos que son variables con el nivel de inventario deben ser incluidos. En algunas situaciones con almacenes propios, estos costos pueden ser esencialmente fijos. Esto significa que no deben incluirse en el costo de mantenimiento. (Axsäter, 2006)

### **Costo por ordenar o preparación (A)**

Ravindran (2008) plantea que cuando se compran los materiales, se solicitan a un proveedor. El pedido requiere una serie de acciones con costos asociados, como estudios de mercado, ofertas y similares. Por lo general, estos costos son independientes de la cantidad ordenada.

Para las partes y los productos finales, donde las unidades se producen en lugar de comprarse, el costo de pedido se reemplaza por los costos de preparación. Los costos de preparación se refieren a los costos asociados con el cambio de la configuración existente en la maquinaria y la capacidad de producción a la configuración requerida para el siguiente proceso.

### **Costo de escasez**

La definición de los costos de escasez que Chase et al. (2009) da es la siguiente: 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. En ocasiones, es muy difícil lograr un equilibrio, porque quizá no sea posible estimar las ganancias perdidas, los efectos de los clientes perdidos o los castigos por cubrir pedidos en una fecha tardía. Con frecuencia, el costo asumido por un faltante es ligeramente más alto, aunque casi siempre es posible especificar un rango de costos

#### **2.1.4.2 Tiempo de entrega (L)**

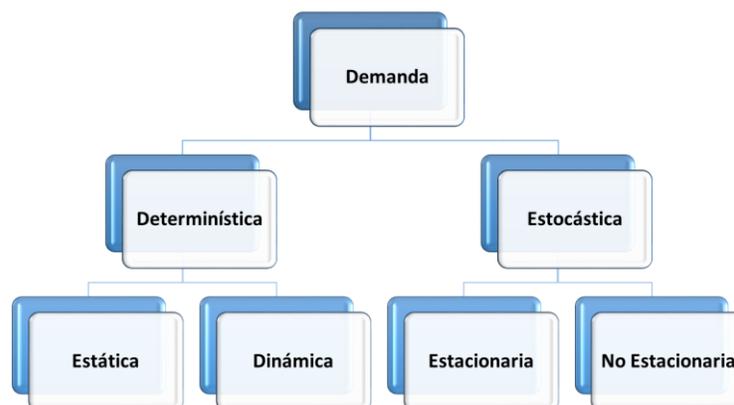
El tiempo de entrega es el tiempo desde la decisión de pedido hasta que la cantidad pedida esté disponible en el estante. No es solo el tiempo de tránsito de un proveedor externo o el tiempo de producción en el caso de un pedido interno. También incluye, el tiempo de preparación de la orden, el tiempo de

tránsito para la orden, el tiempo administrativo del proveedor y el tiempo de inspección después de recibir la orden. (Axsäter, 2006)

### 2.1.4.3 Demanda

“La demanda de un producto en inventario es el número de unidades que será necesario extraer de éste para algún uso (como venta) durante un periodo específico” (Hillier y Lieberman, 2010). “Los niveles de demanda y su programación afectan en gran medida los niveles de capacidad, las necesidades financieras y la estructura general del negocio”. (Ballou, 2004)

En la figura 2.1 se tiene la clasificación del comportamiento que puede seguir la demanda en el tiempo.



**Figura 2.1.** Clasificación de la demanda de acuerdo a su comportamiento en el tiempo.  
(Fuente: Elaboración propia basada en Ravindran (2008))

Los modelos de control de inventario en la literatura y en los libros de texto suelen suponer que la distribución de la demanda y todos sus parámetros son conocidos. Sin embargo, en la práctica dicha información no está disponible, y las demandas futuras tienen que ser previstas basadas en observaciones históricas. Ningún procedimiento de pronóstico produce pronósticos perfectos. La correlación y, más en general, la integración de la toma de decisiones sobre el pronóstico y el inventario es poco estudiada y resulta en reservas de

seguridad que se establecen demasiado bajas y objetivos de servicio que no se alcanzan. (Prak et al., 2016)

Para Ravindran y Warsing Jr. (2013) el éxito de una cadena de suministro de fabricación depende de su capacidad para predecir con precisión las demandas de los clientes y producir a tiempo para satisfacer esas demandas. Por lo tanto, la predicción es el punto de partida para la mayoría de las decisiones en la gestión de la cadena de suministro.

Una característica importante de la demanda se relaciona con el hecho de si la demanda es impulsada externamente por fuerzas que están fuera del control directo de la empresa o si la demanda es impulsada por decisiones internas de gestión. La primera situación describe los artículos de demanda independiente, aquellos artículos cuya demanda depende de los gustos, las preferencias y los patrones de compra de los clientes; típicamente, estos son productos terminados. La gestión del inventario en estos casos está muy influenciada por la medida en que la empresa puede describir eficazmente las variaciones aleatorias en estos patrones de compra de los clientes. Aquellos artículos cuya demanda está impulsada por la demanda de otro, se consideran como artículos de demanda dependiente [...] Sin embargo, tenga en cuenta que la clasificación de un artículo como un artículo de demanda independiente o un artículo de demanda dependiente no es una caracterización absoluta. (Ravindran, 2008)

## **2.2 Modelos de inventarios**

Los modelos de inventario son modelos matemáticos de sistemas reales. El objetivo de analizar los sistemas de inventario es diseñar un sistema que sea un compromiso entre los factores que favorecen altos niveles de inventario y aquellos a favor de niveles bajos. Este compromiso está destinado a resultar en el costo mínimo de mantener un sistema de inventario. El costo de mantener un

sistema de inventario generalmente se evalúa en términos de costo por unidad de tiempo, donde el tiempo de la unidad puede ser de cualquier duración, generalmente un año. Para evaluar matemáticamente los sistemas de inventario, estos modelos hacen varias suposiciones que a veces son restrictivas. (Ravindran, 2008)

Según la posibilidad de predecir la demanda de un producto en inventario los modelos matemáticos de inventarios se pueden dividir en: determinísticos y estocásticos. (Hillier y Lieberman, 2010)

Por la forma en que se revisan los modelos de inventario Hillier y Lieberman (2010) en revisión continua o periódica. Un sistema de revisión continua, hace un pedido en el momento en que el inventario baja del punto de reorden especificado. En la revisión periódica se verifica el nivel del inventario en intervalos discretos, por ejemplo, al final de cada semana, y sólo en estos momentos se toman las decisiones para ordenar, aun cuando el nivel del inventario hubiera bajado del punto de reorden entre los tiempos de revisión.

### **2.2.1 Modelos de inventario determinísticos**

“En modelos de inventario determinísticos, se supone que la demanda no cambia en el tiempo y es conocida” (Ravindran, 2008). De manera similar Hillier y Lieberman (2010), consideran que si la demanda en periodos futuros se puede pronosticar con precisión considerable, es razonable usar una política de inventarios que suponga que los pronósticos siempre serán muy precisos. Éste es el caso de la demanda conocida, ante la cual se usa un modelo de inventarios determinístico.

Los modelos de inventario basados en el comportamiento de la demanda en el tiempo se dividen en modelos para demanda estática y modelos de demanda dinámica.

Los modelos utilizados en demandas estáticas son:

- **Modelo de lote económico o EOQ (por sus siglas en inglés, Economic Order Quantity):** El objetivo consiste en determinar con qué frecuencia y en qué cantidad se debe reabastecer el inventario de manera que se minimice la suma de estos costos por unidad de tiempo. (Hillier y Lieberman, 2010)
- **EOQ con descuentos por cantidad:** En este modelo el costo unitario de un artículo depende de la cantidad de unidades que integren el lote. En particular, se proporciona un incentivo para colocar una orden grande al cambiar el costo unitario de cantidades pequeñas por un costo unitario menor en lotes más grandes y quizá un costo unitario todavía más pequeño para lotes aún más grandes. (Hillier y Lieberman, 2010)
- **Modelo de cantidad de producción económica o EPQ (por sus siglas en inglés, Economic Production Quantity):** En este modelo, la suposición de que todas las unidades ordenadas llegan al mismo tiempo se relaja, y se reemplaza por la suposición de que las unidades llegan a una tasa uniforme de  $P$  durante un período de tiempo. (Ravindran, 2008)

Hasta ahora se han revisado modelos con demanda constante. Sin embargo, es bastante común tener variación en la demanda de cada período. Silver et al. (1998) proponen tres enfoques para tratar este tipo de patrón.

- Usar el modelo básico de cantidad de lote económico EOQ. Utilizar la demanda promedio hasta el horizonte cada vez que se requiera reabastecer. Dado que el patrón de demanda es poco variable, no se viola significativamente la suposición de la tasa de demanda constante.
- Usar la mejor solución exacta para un modelo particular de la situación. Este enfoque es conocido como el algoritmo de Wagner-Whitin, el cual minimiza ciertos costos, es importante recordar que para utilizar este algoritmo se deben usar ciertos supuestos.
- Usar un método aproximado o heurístico. Este enfoque propone capturar la esencia de la complejidad que varía con el tiempo y que debe seguir siendo

relativamente sencilla de entender y no requerir cálculos extensos. Un heurístico proporciona un método práctico para llegar a una solución factible pero no necesariamente óptima. Entre los más populares se tienen: Silver-Meal, lote por lote, equilibrio de período parcial y menor costo unitario. (Shenoy y Rosas, 2018)

### 2.2.1.1 Algoritmo de Wagner-Whitin

Cuando se descarta la suposición de una tasa de demanda estática, y se conocen las cantidades demandadas en cada período pero son diferentes (caso de demanda dinámica, indicado en la fig. 2.1), y los costos de inventario varían de un período a otro, la fórmula de raíz cuadrada (aplicada al promedio general de demanda y costos) ya no garantiza una solución de costo mínimo. A continuación se presenta un algoritmo simple para resolver la versión dinámica del modelo.

El modelo matemático puede verse como un problema de "viabilidad temporal única", en el sentido de que es factible ordenar el inventario en el período  $t$  para la demanda en el período  $t + k$  pero no al revés. (Wagner y Whitin, 2004)

El algoritmo es una aplicación de programación dinámica, un procedimiento matemático para resolver problemas de decisión secuenciales. El esfuerzo computacional, a menudo prohibitivo en formulaciones de programación dinámica, se reduce significativamente debido al uso de dos propiedades clave (derivadas por Wagner y Whitin) que la solución óptima debe satisfacer:

Propiedad 1, Cero inventarios ( $I(t) = 0, \forall T$ ): un reabastecimiento solo tiene lugar cuando el nivel de inventario es cero.

Propiedad 2, Horizonte de planificación ( $(h(j - t)d_t < A)$ ): los costos de almacenamiento ( $h$ ) para la demanda de un periodo nunca deben exceder el costo de pedido ( $A$ ) (Axsäter, 2006). Hay un límite superior de cuánto antes del período  $j$  incluiríamos sus requisitos,  $D(j)$ , en una cantidad de

reabastecimiento. Eventualmente, los costos de almacenamiento se vuelven tan altos que es menos costoso obtener un reabastecimiento al inicio del período  $j$  que incluir sus requisitos en un reabastecimiento de muchos períodos anteriores.

El algoritmo garantiza una solución óptima (en términos de minimización de costos totales) bajo ciertas suposiciones (Silver et al., 1998):

- La tasa de demanda es dada en la forma  $D(j)$ . La demanda puede variar de un periodo a otro, pero se asume conocida.
- Los requerimientos de entrada de cada periodo deberán estar disponibles al inicio de cada periodo. Por lo tanto la reposición queda limitada para llegar al comienzo de los periodos.
- El costo variable por unidad no depende de la cantidad de reposición. No hay descuentos ni en el costo de compra de la unidad, ni en el costo de transporte por unidad.
- Los factores de costo no cambian apreciablemente con el tiempo (la inflación mantiene un nivel bajo despreciable).
- Un producto es tratado completamente independiente de otros.
- El tiempo de entrega de la reposición es conocido con certeza, por lo que la entrega se puede programar justo al inicio de un periodo.
- No se permite escasez.
- La cantidad total de la orden se entrega al mismo tiempo.
- Para simplificar, se asume que los costos de almacenamiento son solo aplicables al inventario que se transfiere de un periodo al siguiente.

Axsäter (2006) describe el algoritmo de Wagner y Whitin, basado en programación dinámica de la siguiente forma:

Primero, introducir la notación a usar.

$f_k$  = costos mínimos durante los períodos  $1, 2, \dots, k$ , es decir, cuando se pasan por alto los períodos  $k + 1, k + 2, \dots, T$ .

$f_{k,t}$  = costos mínimos durante los periodos  $1, 2, \dots, k$ , dado que la última entrega es en el periodo  $t$  ( $1 \leq t \leq k$ ).

Note primero que

$$f_k = \min_{1 \leq t \leq k} f_{k,t} \quad (2.1)$$

Ya que la última entrega debe ocurrir en algún período en la solución óptima. También es obvio que  $f_0 = 0$  y que  $f_1 = f_{1,1} = A$ . Esto es así, dado que con un solo período obtendremos un costo por ordenar pero no costos de almacenamiento. Recuerde que la demanda del período se supone que ocurre al principio de un período.

Ahora suponemos que conocemos  $f_{t-1}$  para algún  $t > 0$ . Entonces es fácil obtener  $f_{k,t}$  para  $k \geq t$  como

$$f_{k,t} = f_{t-1} + A + h(d_{t+1} + 2d_{t+2} + \dots + (k-t)d_k) \quad (2.2)$$

Puesto que tenemos una entrega en el periodo  $t$  los costos mínimos para los periodos  $1, 2, \dots, t-1$  deben ser  $f_{t-1}$ . El costo en el período  $t$  es el costo de pedido  $A$ . Recuerde nuevamente que se supone que las demandas tienen lugar al principio de los períodos. Esto significa que  $d_t$  no causará ningún costo de almacenamiento. La demanda en el periodo  $t+1$  incurre en costos de almacenamiento  $hd_{t+1}$  ya que la cantidad  $d_{t+1}$  se mantiene en stock durante el periodo  $t$ . La demanda en el período  $t+2$  se mantiene igualmente en stock durante dos periodos,  $t$  y  $t+1$ , incurriendo en los costos de almacenamiento  $2hd_{t+2}$ , etc.

Supongamos ahora que sabemos que  $f_1, f_2, \dots, f_{k-1}$  es decir, que hemos resuelto el problema para  $1, 2, \dots, k-1$  periodos. Entonces, se puede determinar  $f_{k,t}$  para  $1 \leq t \leq k$  de (2.2). Aplicando (2.1) para obtener  $f_k$  y el problema se resuelve también para  $k$  periodos. Después de eso estamos listos para usar el mismo

procedimiento para los períodos  $k + 1$ , etc. De la segunda propiedad sabemos que si  $h(j - t)d_j > A$  no necesitamos determinar  $f_{k,t}$  para  $k \geq j$  cuando se aplica (2.2). Después de pasar por todos los períodos  $T$  obtenemos la solución óptima como sigue. Primero consideramos (2.1) para  $k = T$ . El valor mínimo es el costo óptimo, y la minimización  $t$  es el período con la última entrega. Denotar la minimización  $t$  por  $t'$ . Dado que la última entrega es en el periodo  $t'$ , la solución para los períodos  $1, 2, \dots, t' - 1$  también debe ser óptima. Así, podemos considerar de nuevo (2.1) para  $k = t' - 1$ . La última entrega óptima para este problema, digamos  $t = t''$ , es la segunda última entrega para el problema total. Luego consideramos (2.1) para  $k = t'' - 1$  y continuamos de esta manera hasta que la minimización  $t$  sea igual a uno, entonces sea obtenido todos los períodos con entregas.

### 2.2.2 Modelos de inventario estocásticos

“Los modelos diseñados para analizar sistemas de inventarios donde existe una gran incertidumbre sobre las demandas futuras son conocidos como modelos de inventarios estocásticos” (Hillier y Lieberman, 2010). A continuación se realiza una breve descripción de los modelos de inventarios estocásticos:

- **Política de punto de reorden o política (R, Q):** Siempre que el nivel de inventario de un producto llegue a R (punto de reorden) unidades, se coloca una orden de Q (cantidad a ordenar) unidades para reabastecerlo. El modelo asume que es revisado continuamente. (Hillier y Lieberman, 2010)
- **Modelo de inventario estocástico para sistemas de un solo periodo:** Aplica a sistemas que operan solo por un período y donde los artículos no pueden transportarse de un período al siguiente. (Ravindran, 2008)
- **Política de inventario (s,S) :** El punto de reorden se denota por **s**. Cuando la posición del inventario disminuye a o por debajo de **s**, se ordena hasta el nivel máximo **S**. La diferencia en comparación con una política (R, Q) es que ya no se ordenan múltiplos de una determinada cantidad de lote. (Axsäter, 2006)

## 2.3 Pronósticos

Los pronósticos son vitales para toda organización de negocios, así como para cualquier decisión importante de la gerencia. El personal de producción y operaciones utiliza los pronósticos para tomar decisiones periódicas que comprenden la selección de procesos, la planeación de las capacidades y la distribución de las instalaciones, así como para tomar decisiones continuas acerca de la planeación de la producción, la programación y el inventario (Chase et al., 2009). Chopra y Meindl (2008) nos dicen que los pronósticos de la demanda forman la base de toda la planeación de la cadena de suministro.

Chapman (2006) define a la formulación de pronósticos (o proyección) como “una técnica para utilizar experiencias pasadas con la finalidad de predecir expectativas del futuro”. En tanto Montgomery et al. (2015) los define como “una predicción de algún evento o evento futuro.”

### 2.3.2 Clasificación de los pronósticos

Los métodos de pronóstico se clasifican en cualitativos y cuantitativos.

- **Métodos cualitativos:** métodos principalmente subjetivos y se apoyan en el juicio humano. Son apropiados sobre todo cuando la información histórica no está disponible o existen muy pocos datos; o bien, cuando los expertos cuentan con resultados de investigación del mercado que pueden afectar el pronóstico (Chopra y Meindl, 2008). Entre estos métodos se encuentran la investigación de mercado, consenso de panel, analogía histórica, pronóstico visionario y método Delphi. (Chase et al., 2009)
- **Métodos Cuantitativos:** las técnicas de pronóstico cuantitativo hacen uso formal de datos históricos y un modelo de pronóstico. El modelo resume formalmente los patrones en los datos y expresa una relación estadística entre los valores anteriores y actuales de la variable. Luego, el modelo se usa para proyectar los patrones de los datos en el futuro. En otras palabras, el modelo se utiliza para

extrapolar el comportamiento pasado y actual en el futuro (Montgomery et al., 2015). Dentro de esta tipo de pronósticos se tiene una subcategoría en la que se encuentran los métodos de series de tiempo y causales. (Chapman, 2006)

Una serie de tiempo es una secuencia cronológica de observaciones sobre una variable de interés (Montgomery et al., 2015). Chapman (2006) menciona que los métodos de series de tiempo parten, básicamente, de un supuesto común: la demanda pasada sigue cierto patrón, y que si este patrón puede ser analizado podrá utilizarse para desarrollar proyecciones para la demanda futura, suponiendo que el patrón continúa aproximadamente de la misma forma. Algunos de los principales métodos en series de tiempo son: promedios móviles, suavización exponencial, análisis de regresión, Box-Jenkins, descomposición de series de tiempo y proyecciones de tendencia. Con respecto a una variable de interés, existen cuatro tipos de cambios o variaciones implicados en el análisis de series de tiempo (Levin y Rubin, 2004), la descripción de cada uno de los cambios siguiente basada en (Chapman, 2006; Hanke y Wichern, 2010) es la siguiente:

- ❖ Tendencia: es el componente de largo plazo que representa el crecimiento o el descenso en la serie de tiempo y puede tener naturaleza lineal o no lineal.
- ❖ Estacionalidad: se refiere a un patrón de cambio que se repite año tras año. (Este patrón puede seguir las estaciones del año).
- ❖ Cíclico: es una serie de fluctuaciones en forma de onda o ciclos de más de un año de duración.
- ❖ Aleatorio: parte del supuesto de que la demanda siempre posee un elemento aleatorio. Cuando los datos recopilados en el transcurso del tiempo fluctúan alrededor de un nivel o una media constante, hay un patrón horizontal y se dice que este tipo de series es estacionario en su media.

- Los métodos causales suponen que el pronóstico de la demanda está altamente correlacionado con ciertos factores en el ambiente (el estado de la economía, las tasas de interés, etc.) y encuentran esta correlación entre la demanda y los factores ambientales, recurren a estimados de lo que serán los factores ambientales para pronosticar la demanda futura (Chopra y Meindl, 2008). Dentro de los métodos causales más utilizados se encuentran las técnicas de regresión, econométricas y métodos de simulación. (Contreras et. al., 2016)

### 2.3.3 Análisis de patrones en las series de tiempo

#### Análisis de tendencia

Una manera de describir la componente de tendencia es ajustar una recta a un conjunto de puntos de una gráfica. Sin embargo la gráfica estará sujeta a interpretaciones que varían de un individuo a otro, dado que este método solo es un ajuste visual, carece de ser una estimación segura por lo que se deben usar métodos como mínimos cuadrados para realizar el ajuste de la línea de tendencia. Las tendencias pueden ser rectas o curvilíneas (logarítmicas, exponenciales, potenciales y polinómicas). (Levin y Rubin, 2004)

Anderson et al. (2008) sugieren que la ecuación para describir cómo se relaciona  $y$  con  $x$  y en la que se da un término para el error, se le llama *modelo de regresión*. La ecuación 2.1 es la empleada para representar al modelo de regresión lineal simple, donde  $\beta_0$  y  $\beta_1$  se conocen como los parámetros del modelo y  $\epsilon$  (letra griega épsilon) es una variable aleatoria que se conoce como término del error. El término del error da cuenta de la variabilidad de  $y$  que no puede ser explicada por la relación lineal entre  $x$  y  $y$ .

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (2.3)$$

Se le llama *ecuación de regresión* a la relación entre el valor esperado de  $y$  denotado por  $E(y)$  y  $x$ . La ecuación 2.4 es la ecuación de regresión lineal simple y su gráfica está representada por una línea recta.

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.4)$$

Si se conocieran los valores de los parámetros poblacionales  $\beta_0$  y  $\beta_1$  se podría emplear la ecuación (2.4) para calcular el valor medio de  $y$  para un valor dado de  $x$ . Sin embargo, en la práctica no se conocen los valores de estos parámetros y es necesario estimarlos usando datos muestrales. Se calculan estadísticos muestrales (que se denotan  $b_0$  y  $b_1$ ) como estimaciones de los parámetros poblacionales  $\beta_0$  y  $\beta_1$ . Sustituyendo en la ecuación de regresión  $b_0$  y  $b_1$  por los valores de los estadísticos muestrales  $\beta_0$  y  $\beta_1$ , se obtiene la ecuación de regresión estimada 2.5. A la gráfica de la ecuación de regresión simple estimada se le llama *recta de regresión estimada*;  $b_0$  es la intersección con el eje  $y$  y  $b_1$  es la pendiente.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (2.5)$$

En una ecuación de regresión lineal simple, la media o valor esperado de  $y$  es una función lineal de  $x$ :  $E(y) = \beta_0 + \beta_1 x$ . Pero si el valor de  $\beta_1 = 0$ ,  $E(y) = \beta_0 + (0)x = \beta_0$ . En este caso, el valor medio de  $y$  no depende del valor de  $x$  y por lo tanto se puede concluir que  $x$  y  $y$  no están relacionadas linealmente. Pero si el valor de  $\beta_1 \neq 0$ , se concluirá que las dos variables están relacionadas. Por lo tanto, para probar si existe una relación de regresión significativa, se debe realizar una prueba de hipótesis para determinar si el valor de  $\beta_1$  es distinto de cero. Hay dos pruebas que son las más usadas (prueba  $t$  y  $F$ ). En ambas, se requiere una estimación de  $\sigma^2$ , la varianza de  $\epsilon$  en el modelo de regresión.

El objetivo de la prueba  $t$  es determinar si se puede concluir que  $\beta_1 \neq 0$ . Para ello se debe plantear las siguientes hipótesis:

$$\text{Hipótesis nula } H_0: \beta_1 = 0$$

$$\text{Hipótesis alternativa } H_a: \beta_1 \neq 0$$

Si se rechaza  $H_0$ , se concluirá que  $\beta_1 \neq 0$  y que entre las dos variables existe una relación estadísticamente significativa. La base para esta prueba de hipótesis la proporcionan las propiedades de la distribución muestral de  $b_1$ , el estimador de  $\beta_1$ , obtenido mediante el método de mínimos cuadrados. Para

determinar si la relación es significativa se basa en el hecho de que el estadístico de prueba sigue una distribución  $t$  con  $n - 2$  grados de libertad. La ecuación 2.6 es el estadístico de prueba utilizado para rechazar la hipótesis.

$$t = b_1 / s_{b_1} \quad (2.6)$$

La regla de rechazo de  $H_0$  es: Si  $t \leq -t_{\alpha/2}$  o si  $t \geq t_{\alpha/2}$  donde  $t_{\alpha/2}$  se toma de la distribución  $t$  con  $n - 2$  grados de libertad. (Anderson et al., 2008)

### **Análisis de estacionalidad**

Para medir la variación estacional se han desarrollado varios métodos, la idea básica en todos es, primero, estimar y eliminar la tendencia de la serie original, suavizar el componente irregular, recolectar y resumir los valores estacionales para obtener un número (índice estacional) para cada intervalo del año observado (semana, mes, trimestre, etc.). Los índices estacionales son números que indican los cambios en el tiempo, es decir, qué periodos del año son relativamente bajos y altos después de haber eliminado los efectos que se deben a la tendencia (o tendencia-ciclo) y los componentes irregulares (Hanke y Wichern, 2010). Los índices de estacionalidad no son estáticos, se pueden actualizar a medida que haya más datos disponibles. (Ravindran, 2008)

Un enfoque para el análisis de los datos de las series de tiempo incluye un intento por identificar los componentes que influyen en cada uno de los valores de una serie. Este procedimiento de identificación se llama descomposición. Un modelo que trata los valores de la serie de tiempo como una suma de los componentes  $(T_t, C_t, S_t, I_t)$  se llama *modelo aditivo*, en tanto uno que trata los valores de las series de tiempo como el producto de los componentes se llama *modelo multiplicativo*. (Hanke y Wichern, 2010)

La aplicación del método multiplicativo basado en Anderson et al. (2008) se para el cálculo de los índices estacionales es el siguiente:

- a) Identificar el componente estacional de cada trimestre o mes, se empieza por calcular un promedio móvil para separar los componentes estacional ( $S_t$ ) e irregular ( $I_t$ ), del componente de tendencia ( $T_t$ ).
- Para calcular cada promedio se usan datos de todo un año. Si se trabaja con una serie trimestral, para cada promedio móvil se usan cuatro datos; si se trabaja con una serie anual entonces el promedio móvil debe usar 12 datos.
- b) Obtener promedio móvil centrado. (Si en un promedio móvil el número de datos es non, el punto medio corresponderá a uno de los periodos de la serie de tiempo. En tales casos, no es necesario centrar los promedios móviles). Cada promedio móvil centrado representa el valor de la serie de tiempo si no existieran las influencias estacionales irregulares.
- c) Obtener el valor estacional irregular dividiendo cada observación de la serie de tiempo entre su correspondiente promedio móvil centrado.
- d) Calcular índice estacional.
- Calcular media de cada trimestre o mes (según corresponda).
  - Calcular promedios de cada trimestre o mes. En el modelo multiplicativo se requiere que el índice estacional promedio sea igual a 1, de manera que la suma de los cuatro índices estacionales debe ser igual a 4 en el caso de utilizar datos trimestrales y 12 para datos anuales. En caso de no cumplir con lo anterior, los promedios deben ajustarse.

#### AJUSTE:

- ❖ Sumar todos los promedios no ajustados,
- ❖ Dividir  $4/\sum \text{promedios no ajustado}$  (en caso de ser anual el 4 cambia por 12),
- ❖ Multiplicar cada promedio no ajustado por el resultado de la división.

- Los valores de los índices estacionales son los promedios de cada trimestre o mes que cumplen con la regla anterior (es decir los promedios ajustados).

Utilizando el método de descomposición aditiva el inciso a y b son iguales al método multiplicativo.

- c) El cálculo del valor estacional irregular se realiza restando a cada observación de la serie de tiempo su correspondiente promedio móvil centrado.
- d) Calcular índice estacional.
  - Calcular media de cada trimestre o mes (según corresponda).
  - Calcular promedios de cada trimestre o mes. En el modelo aditivo se requiere que la suma de los índices estacionales promedio sea igual a 0. En caso de no cumplir con lo anterior, los promedios deben ajustarse.

AJUSTE:

- ❖ Sumar todos los promedios no ajustados,
- ❖ Dividir  $\sum \text{promedios no ajustados} / 12$  si se tratan de datos anuales o 4 en caso de ser trimestrales.
- ❖ Restar a cada promedio no ajustado el resultado de la división anterior.
- Los valores de los índices estacionales son los promedios de cada trimestre o mes que cumplen con la regla de ajuste (es decir los promedios ajustados).

### 2.3.4 Medición del error de pronóstico

Para Hanke y Wichern (2010) la decisión de usar una técnica de elaboración de pronósticos específica se basa, en parte, en la determinación de si la técnica producirá errores en el pronóstico que se consideren lo suficientemente

pequeños. En efecto, es realista esperar que una buena técnica de elaboración de pronósticos produzca errores relativamente pequeños de manera consistente. Las cinco medidas (MAD, MSE, RMSE, MAPE Y MPE) de precisión de un pronóstico son usadas para:

- Comparar la exactitud de dos (o más) técnicas diferentes.
- Medir la utilidad o confiabilidad de una técnica en particular.
- Ayudar en la búsqueda de técnica óptima.

Hay varios métodos cuya finalidad es resumir los errores generados por una técnica específica de pronósticos. La mayoría de estas medidas son el promedio de alguna función de la diferencia entre su valor real y su valor pronosticado. Estas diferencias se conocen como residuos o errores.

## **2.4 Revisión de la literatura**

Invariablemente, una empresa no debe mantener inventarios excesivos para evitar una atadura innecesaria de fondos así como pérdidas en fondos debido a robo, deterioro y obsolescencia, ni mantener inventarios demasiado bajos para satisfacer la demanda de producción y ventas cuando sea necesario (Chuka et al., 2016). Los inventarios mal administrados crean problemas financieros significativos para una organización empresarial que se traduce en un exceso de inventario o escasez de material. La gestión correcta del inventario siempre se compromete a crear un plan de compras que garantice que los artículos estén disponibles cuando se necesiten y que se mantenga al tanto del inventario existente y su utilización (Nallusamy et al., 2017). Slater (2010) afirma que para las organizaciones de manufactura, el inventario puede representar hasta el 50% (o más) de los activos actuales de la empresa. Esto significa que para la mayoría de los fabricantes, hasta el 50% de sus activos que podrían convertirse en efectivo en los próximos 12 meses están atados al inventario. Por otro lado Wang (2007), menciona que la cantidad de inventario varía entre los diferentes tipos de empresas, una empresa típica lleva

aproximadamente el 30% de sus activos actuales y aproximadamente el 90% de su capital de trabajo en inventario, además cita un ejemplo de Stevenson (2007) donde se comenta que algunas firmas grandes llevaron gran cantidad de inventario; por ejemplo, en algún momento se informó que General Motors tenía inventarios de materiales, piezas, automóviles y camiones de hasta 40,000 millones de dólares en sus cadenas de suministro. Es claro que el inventario representa una porción significativa de los activos totales; una política de inventario adecuadamente administrada ciertamente tiene un impacto significativo en la medida de desempeño de una empresa, como el retorno de la inversión. Por otro lado, evitar los problemas de desabastecimiento y pérdida de ventas con suficiente inventario disponible. (Wang, 2007)

La adquisición de materia prima es un factor principal en las cadenas de suministro porque una decisión eficiente sobre las materias primas podría provocar un mayor crecimiento de los ingresos (Taleizadeh y Noori-daryan, 2016). Mahendra y Harwinder (2008) señalan que se pueden hacer grandes ahorros en los inventarios de materia prima, tomando en cuenta las siguientes medidas:

- Desarrollo de fuentes de suministro con plazos más cortos,
- Mejora en las técnicas de previsión de la demanda y el consumo.

La previsión de demanda se utiliza para estimar los parámetros de control de inventario y, en algunos casos, también para decidir cuánto ordenar en el momento de la reposición (Rego y Mesquita, 2011). Gallego y Özer (2001) estudian el valor de la anticipación de la información sobre la demanda, en la disminución de los niveles de inventario y mejora de las políticas de reemplazo de la empresa, por la vía de aprovechar la disposición del cliente a pagar un poco más del valor del bien, si éste le es suministrado inmediatamente.

Cáceres et al. (2015) proponen un modelo de programación entera mixta (implementado en Lingo) orientado a la minimización de costos, cantidad de

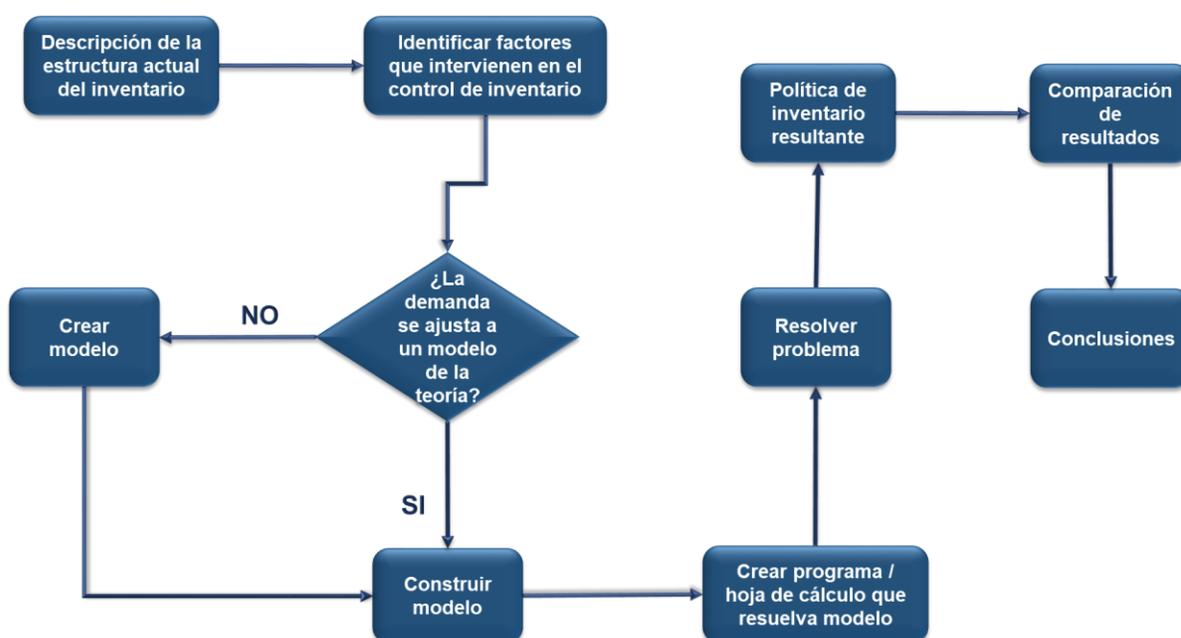
materia prima, almacenamiento de materiales, control de niveles de rotación de materia prima y producto terminado, para satisfacer la demanda existente en una empresa del sector automotriz principalmente carroceros. El modelo permite conocer las cantidades exactas de inventario para satisfacer la demanda y así controlar que no existan retrasos en la producción, con esto se logra reducir 49.7% del costo de mantener inventario de materiales. Sadjadi et al., (2009) presentan una implementación mejorada del algoritmo de Wagner-Whitin para problemas de tamaño de lote económico basados en el teorema de planificación del horizonte y el concepto de período de parte económico. El método propuesto de este documento reduce significativamente la carga de los cálculos en dos casos diferentes. Primero asumen que no hay acumulación de pedidos, y que los costos de almacenamiento y pedido del inventario son fijos. El segundo modelo considera al algoritmo de Wagner-Whitin cuando los costos de acumulación, almacenamiento de inventario y pedido no son fijos. Compararon el rendimiento del método propuesto con el WWA tradicional y demuestran que la propuesta podría reducir significativamente la carga de los cálculos. Vargas (2009) presenta un algoritmo para determinar la solución óptima en todo el horizonte de planificación en un modelo dinámico de tamaño de lote, donde la demanda es estocástica y no estacionaria (el caso analizado presenta demanda que sigue una distribución normal). La solución óptima para el problema determinista es el conocido algoritmo de Wagner-Whitin, sin embargo este trabajo solo es similar; contribuyendo a la construcción de conocimiento, al considerar que el algoritmo resultante puede ser una herramienta base, en el desarrollo de heurísticas de programación de la producción para casos estocásticos. Teng y Yang (2007) indican que un método para tratar los modelos EOQ con una demanda y un costo que varían en el tiempo en un horizonte de planificación finita es el uso de la programación dinámica discreta (por ejemplo, Wagner y Whitin), además mencionan que basados en las décadas de experiencias de enseñanza que tienen, hay muchos estudiantes que tienen dificultades para manejar una programación dinámica tediosa y engorrosa, y aunque este puede ser un enfoque satisfactorio, generalmente es preferible

resolverlo analíticamente para obtener una política óptima de reabastecimiento, siempre que sea posible. Teng y Yang (2007) generalizan el modelo EOQ de Khouja y Park (2003) para permitir no solo que la demanda varíe en el tiempo, sino también un ciclo de tiempo desigual, prueban que existe un programa de reposición óptimo proporcionando un algoritmo iterativo simple para obtener el número de reabastecimiento óptimo y la programación de tiempo. Además, también proponen un algoritmo heurístico para obtener la solución óptima al modelo de tamaño de lote de Khouja y Park (2003).

En su estudio Wang (2007) investiga la determinación simultánea de la cantidad de pedido ( $Q$ ) y el punto de pedido ( $r$ ) para determinar la demanda correlacionada en un sistema de gestión de inventario de revisión continua. Sugieren varios modelos paramétricos para representar la demanda durante el tiempo de entrega. La elección óptima de los pares ( $Q$ ,  $r$ ) se obtiene minimizando el costo total de inventario esperado. La investigación numérica muestra que la correlación de la demanda tiene un impacto sustancial en la elección de ( $Q$ ,  $r$ ) y el costo total del inventario. Sin embargo, si la demanda anual se considera fija, entonces la correlación tiene un fuerte efecto solo en  $r$ , pero no en  $Q$ . Alfares (2007) consideró la política de inventario para un artículo con una tasa de demanda dependiente del nivel de stock y un costo de mantenimiento dependiente del tiempo de almacenamiento. Se asumió que el costo de mantenimiento por unidad del artículo por unidad de tiempo era una función creciente del tiempo empleado en el almacenamiento y finalmente determinó la cantidad óptima de pedido y el tiempo de ciclo óptimo.

### 3. Metodología para el desarrollo del proyecto

Como se menciona en la parte introductoria de este trabajo, el objetivo principal es reducir costos de almacenamiento y pedido generados por la compra de materia prima, manteniendo niveles de inventario de acuerdo a necesidades requeridas por el proceso y evitar paros en línea de producción. Para lograr el objetivo se presenta la propuesta de trabajo ilustrada en el diagrama de la figura 3.1.



*Figura 3.1. Diagrama de la metodología para el desarrollo del proyecto.  
(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)*

El estudio se lleva a cabo con los datos del consumo mensual de materias primas del año 2016, 2017 y 2018.

Una vez definido el periodo de evaluación del historial de demanda, se describe la estructura actual del control de inventario en la empresa de estudio, para después proceder con la identificación de los factores que intervienen en los modelos de control de inventario.

El siguiente paso es determinar si en la literatura existe algún modelo que refleje el problema, en caso contrario, construir uno basado en los existentes. Teniendo el modelo, calculando los parámetros necesarios para su implementación y seleccionando una herramienta de apoyo para resolverlo, se tiene la política de inventario resultante, la cual se compara con el procedimiento actual de la empresa y con dos escenarios donde se modifican los costos de almacenamiento y pedido.

Finalmente se concluye en base a los resultados obtenidos al aplicar el modelo de inventario seleccionado.

La propuesta de solución contempla 12 meses como horizonte de planeación (año 2018) para demostrarle a la empresa el beneficio que puede obtener al aplicar un método cuantitativo en sus operaciones de abastecimiento.

### **3.1 Análisis de la estructura actual del control de inventario en almacén**

#### **3.1.1. Estructura actual del inventario**

Actualmente la empresa realiza sus actividades de abastecimiento de materia primas de manera mensual y bimestral, sin el apoyo de algún método cuantitativo. En el caso de las 12 materias primas que son utilizadas en el componen B, la mitad se pide bimestralmente (MP3\_B, MP5\_B, MP6\_B, MP7\_B, MP11\_B y MP12\_B) y la otra mitad mensualmente (MP1\_B, MP2\_B, MP4\_B, MP8\_B, MP9\_B y MP10\_B). En las materias primas del componente C, solo dos de ellas se piden mensualmente (MP1\_C y MP7\_C) y las cinco restantes son abastecidas bimestralmente. Y para aquellas que son utilizadas en ambos componentes, tres son solicitadas mensualmente (MP1\_A, MP5\_A Y MP6\_A) y las otras tres de forma bimestral. Lo descrito en el párrafo queda expuesto en el cuadro 3.1, donde los cuadros sombreados y con cero indican que en ese mes no hay pedido de materia prima.

**Cuadro 3.1. Política de abastecimiento aplicada por la empresa.**

POLÍTICA DE ABASTECIMIENTO APLICADA POR LA EMPRESA PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B												
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MP1_B	28600	28600	22100	36400	28600	27300	50700	23400	26000	29900	49400	0
MP2_B	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	19500	20800	24700	42900	0
MP3_B	2396	0	2396	0	1198	0	2396	0	1198	0	1198	0
MP4_B	2491500	2611500	1879500	3292500	2625000	2569500	5232000	2799000	2532000	2733000	4812000	0
MP5_B	9828	0	9828	0	10192	0	14014	0	9464	0	8736	0
MP6_B	52400	0	54000	0	54800	0	74800	0	51600	0	46000	0
MP7_B	109368		109760		117600		153664		106624		95256	0
MP8_B	56000	55000	41000	70000	59000	58000	102000	55000	49000	57000	95000	0
MP9_B	207792	212976	155952	267408	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365904	0
MP10_B	10000	11000	7000	16000	14000	12000	18000	9000	11000	14000	30000	0
MP11_B	16200	0	16200	0	16500	0	22500	0	15900	0	15000	0
MP12_B	47000	0	46000	0	43000	0	59000	0	29000	0	26000	0

POLÍTICA DE ABASTECIMIENTO APLICADA POR LA EMPRESA PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE C												
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MP1_C	110200	120350	108750	165300	123250	117450	117450	126150	111650	105850	185600	0
MP2_C	2396	0	2396	0	2396	0	2396	0	1198	0	0	0
MP3_C	324	0	360	0	450	0	432	0	432	0	378	0
MP4_C	163072	0	149352	0	167384	0	165424	0	151312	0	132104	0
MP5_C	13600	0	12240	0	16320	0	13600	0	13600	0	9520	0
MP6_C	14366	0	14366	0	15672	0	14366	0	13060	0	11754	0
MP7_C	959000	1544200	1178800	1075200	1792000	1545600	1842400	2025800	1821400	2182600	3540600	0

POLÍTICA DE ABASTECIMIENTO APLICADA POR LA EMPRESA PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE C												
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MP1_A	2000	2000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	3000	0
MP2_A	1600	0	1600	0	2400	0	1600	0	1600	0	2400	0
MP3_A	4725	0	4970	0	4935	0	6090	0	4795	0	4550	0
MP4_A	6336	0	5760	0	6336	0	7488	0	6912	0	6336	0
MP5_A	2500	1250	2500	2500	3750	2500	2500	1250	1250	1250	2500	0
MP6_A	17000	16000	11000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	19000	30000	0

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Asociado a la política de abastecimiento descrita en el párrafo anterior, la empresa debe cumplir con un estándar en la cantidad que se pide al proveedor (en las tablas 1.2, 1.3 y 1.4 del capítulo 1, en la columna STD PACK se puede apreciar cual es el estándar que debe cumplir cada materia prima); para ello el empleado encargado de

comprar las materias debe realizar un ajuste en las cantidades y cumplir con este requerimiento. El ajuste se calcula de la siguiente forma:

- Una vez que se tienen las cantidades de consumo mensual, se dividen entre la cantidad marcada por STD PACK, si el resultado no es entero se debe redondear. La regla utilizada es:
  - ❖ Si el número decimal es  $\geq 0.25$  se debe redondear al entero mayor más próximo.
  - ❖ Si el número decimal es  $< 0.25$  se debe redondear al entero menor más próximo.

El resultado de la división del paso anterior nos da la cantidad de sacos, cajas o botes necesarios que se pedirán al proveedor.

### **Ejemplo 1:**

La cantidad requerida para la MP3\_B (materia prima 3 del componente B) del mes de enero es 1081 kg y el STD PACK es de 1198 kg.

$$\text{Realizando la división, se tiene: } \frac{1081 \text{ kg}}{1198 \text{ kg}} = 0.90 \text{ kg}$$

Aplicando la regla para los decimales, se redondea a 1 dado que el resultado de la división anterior es mayor a 0.25.

Entonces, la cantidad solicitada al proveedor debe ser de un saco de MP3\_B que equivale a 1198 kg.

Los tamaños de lote ( $Q_t$ ) de las 25 materias primas del cuadro 3.1 fueron calculados de acuerdo a la regla para redondear a enteros del ejemplo 1 de ésta sección.

### **3.1.2 Identificación de factores que intervienen en el control de inventario**

Actualmente la empresa no cuenta con algún método cualitativo que le ayude a identificar si los datos de consumo de materia prima siguen algún patrón, por lo que la forma de abastecimiento descrita en el sección pasada (3.1.1) solo se basa en

estimaciones realizadas por el personal a cargo de la compra, sin que exista el soporte de algún modelo de inventario. Además de ello, los datos de demanda que se utilizan para realizar los pedidos de compra solo se derivan de las cantidades de componentes B y C que el área de finanzas solicita. Es decir, los empleados del área de materiales quienes realizan las compras, solo calculan las cantidades necesarias para cumplir con los requerimientos de componentes sin tener injerencia en los datos.

Basado en lo anterior, la demanda de materias primas se considera como determinística y variable en el tiempo, dado que es un dato proporcionado por otra área, el cual no se puede modificar.

En cuanto a los costos, la empresa define los siguientes:

- Costo de almacenamiento  $h = \$0.086 \text{ unidades/mes}$ .
- Costo de ordenar  $A = \$ 15.8 / \text{pedido}$ .
- Costo de escasez  $\$ 500 / \text{minuto}$ , no se permite desabasto de materia prima, si esto llegará a ocurrir existe riesgo de parar la producción de la planta.
- Costo por unidad, no depende de la cantidad de materia prima comprada (estos costos no se muestran por razones de confidencialidad para la empresa).

Los tiempos de entrega para cada materia prima son en días y se pueden consultar en las tablas 1.2, 1.3 y 1.4 del capítulo 1 en la columna lead time.

La cantidad de materia prima ordenada se entrega completamente, no se reciben pedidos por partes.

### **3.2 Selección del método de solución**

Considerando a la demanda como determinística y tomando en cuenta que los supuestos descritos en el modelo de inventarios con demanda variable del capítulo 2 son aplicables al caso de estudio, se opta por utilizar el algoritmo de programación dinámica de Wagner-Whitin.

### **3.2.1 Aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin al caso de estudio**

Tanto los datos de demanda, como los costos que se usaron en la aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin fueron proporcionados por la empresa.

No se debe olvidar que existe un acuerdo entre los proveedores y la empresa de estudio sobre un estándar pack en cuanto a las cantidades de materia prima a comprar. Por lo que antes de aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin, se redondearon los datos de demanda 2018.

Para obtener valores de acuerdo a estándar pack, se utilizó el procedimiento descrito en el ejemplo 1 de la sección 3.1.1, aunque se tendrá una variación en cuanto a regla de redondeo, en nuestro caso no se aplicó totalmente la regla. La tabla 3.1 muestra un ejemplo de cómo se elaboran esos cálculos para la materia prima 3 del componente B.

**Tabla 3.1. Calculo del redondeo para STD PACK de la MP3 del componente B.**

MP3_B					
MES	DEMANDA DE LA EMPRESA	STD PACK = 1198 Kg	REDONDEO PARA CUMPLIR CON STD PACK	EXPLICACIÓN DEL REDONDEO PARA STD PACK	
ENE	1081	$1081 / 1198 =$	0.90	1	Se redondea a 1, sin embargo en inventario quedan 0.10 unidades.
FEB	800	$800 / 1198 =$	0.67	1	Se redondea a 1, sin embargo en inventario quedan = $1.10 - 0.67 = 0.43$ unidades.
MAR	631	$631 / 1198 =$	0.53	1	Se redondea a 1, porque aunque en inventario hay 0.43 unidades no son suficientes para cumplir con las 0.53 requeridas por la empresa. Inventario = $1.43 - 0.53 = 0.90$ unidades
ABR	941	$941 / 1198 =$	0.79	0	Se redondea a 0, porque en inventario hay 0.90 unidades y con ellas es suficiente para cubrir la demanda de 0.79 unidades. Inventario = $0.90 - 0.79 = 0.11$ unidades
MAY	468	$468 / 1198 =$	0.39	1	Se redondea a 1, porque aunque en inventario hay 0.11 unidades no son suficientes para cumplir con las 0.39 requeridas por la empresa. Inventario = $1.11 - 0.39 = 0.72$ unidades
JUN	321	$321 / 1198 =$	0.27	0	Se redondea a 0, porque en inventario hay 0.72 unidades y con ellas es suficiente para cubrir la demanda de 0.27 unidades. Inventario = $0.72 - 0.27 = 0.45$ unidades
JUL	1104	$1104 / 1198 =$	0.92	1	Se redondea a 1, porque aunque en inventario hay 0.45 unidades no son suficientes para cumplir con las 0.92 requeridas por la empresa. Inventario = $1.45 - 0.92 = 0.53$ unidades
AGO	365	$365 / 1198 =$	0.30	0	Se redondea a 0, porque en inventario hay 0.53 unidades y con ellas es suficiente para cubrir la demanda de 0.30 unidades. Inventario = $0.53 - 0.30 = 0.23$ unidades
SEP	145	$145 / 1198 =$	0.12	0	Se redondea a 0, porque en inventario hay 0.23 unidades y con ellas es suficiente para cubrir la demanda de 0.12 unidades. Inventario = $0.23 - 0.12 = 0.11$ unidades
OCT	537	$537 / 1198 =$	0.45	1	Se redondea a 1, porque aunque en inventario hay 0.11 unidades no son suficientes para cumplir con las 0.45 requeridas por la empresa. Inventario = $1.11 - 0.45 = 0.66$ unidades
NOV	750	$750 / 1198 =$	0.63	0	Se redondea a 0, porque en inventario hay 0.66 unidades y con ellas es suficiente para cubrir la demanda de 0.63 unidades. Inventario = $0.66 - 0.63 = 0.03$ unidades
DIC	212	$212 / 1198 =$	0.18	1	Se redondea a 1, porque aunque en inventario hay 0.03 unidades no son suficientes para cumplir con las 0.18 requeridas por la empresa. Inventario = $1.03 - 0.18 = 0.85$ unidades
		<b>TOTAL=</b>	6.15	7	

*(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)*

De la tabla 3.1 se puede concluir que sin utilizar el redondeo se tiene un requerimiento 6.15 unidades, sin embargo no se cumpliría el convenio de STD PACK, al realizar el redondeo (ver columna explicación en tabla 3.1) se tienen 7 unidades que es igual a 8386 kg de materia prima 3 del componente B (MP3\_B) y aunque el resultado es mayor a lo requerido, queda por debajo de lo que la empresa calculo. El resultado de la empresa fue de 9 unidades equivalentes a 10782 kg. Aplicando la modificación en el redondeo se tendría una disminución de 2396 kg.

Aplicar la modificación en el criterio de redondeo en las cantidades requeridas de materia prima (realizar sumas y restas mes a mes de las unidades) en algunos casos

significa pedir menos que la empresa y eso se verá reflejado en mantener menos unidades de materia prima en almacén.

El resultado de las demandas que ya cumplen con STD PACK requerido se puede revisar en el anexo B de este proyecto.

Los cálculos del algoritmo se realizan mediante una hoja de cálculo en Excel, donde se obtienen los costos mínimos de la política de inventario resultante, así como los periodos de demanda con sus respectivas cantidades.

Los costos contemplados en la aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin son:

- Costo por ordenar  $A = \$ 15.8 / pedido$
- Costo de almacenamiento  $h = \$0.086 unidades/mes$

**(Ambos costos fueron datos proporcionados por la empresa).**

El cuadro 3.2 muestra cálculos aplicando las ecuaciones 2.1 y 2.2 para los doce periodos de materia prima 3 del componente C (MP3\_C), tanto  $A$  como  $h$  se mantienen constantes para todo el año ya que se ubican en el mismo almacén. El cuadro se divide en dos tablas, donde:

- La tabla “POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP USANDO EL ALGORITMO WAGNER-WHITIN” a través de la ecuación 2.2 muestra costos de todas las posibles opciones para realizar los requerimientos de cada mes, esto no era necesario ya que se podían haber omitido ciertos valores aplicando la propiedad 2 del algoritmo Wagner-Whitin descrita en el capítulo 2. El cuadro sombreado de amarillo es el costo final en el que incurrirá la empresa al aplicar el algoritmo, los cuadros subrayados representan la cantidad de meses que se incluirán en el pedido al proveedor. Por ejemplo, subrayar 31.60 y 45.53 en la primer tabla del cuadro 3.2 indica que en el mes de febrero se hará un pedido

que cumpla con las demandas de febrero y marzo, para ayudar a visualizar esto se agregó un reglón donde el cuadro se ilumina de azul con la leyenda “ORDENAR”.

- En la segunda tabla, “RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN”, se tienen los valores del inventario inicial ( $I_{t-1}$ ), la demanda ( $D_t$ ), el inventario final ( $I_t$ ), la cantidad de veces que se debe pedir la materia prima y la cantidad del lote a ordenar ( $Q_t$ ). Además del costo total de la política para esa materia prima.

**Cuadro 3.2.** Aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en la materia prima 3 del componente C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP3_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8 usd/pedido										
Costo de almacenamiento (h) =		0.086 usd/mes										
DEMANDA	144	180	162	180	234	216	198	216	198	234	234	144
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	31.28	45.53	61.33	77.13	92.93	108.73	124.53	140.33	156.13	171.93	184.32
2		31.60	45.53	76.49	136.86	211.17	296.31	407.76	526.96	687.95	889.07	992.91
3			47.08	62.56	102.81	158.54	226.65	319.53	421.70	562.56	723.56	835.01
4				61.33	81.46	118.61	169.69	244.00	329.14	449.88	590.75	689.82
5					77.13	95.71	129.76	185.49	253.60	354.22	474.97	561.66
6						92.93	109.96	147.11	198.20	278.69	379.31	453.62
7							108.73	127.31	161.36	221.74	302.23	364.15
8								124.53	141.56	181.81	242.18	291.72
9									140.33	160.46	200.70	237.86
10										156.13	176.26	201.02
11											171.93	184.32
12												187.73
	ORDENAR	ORDENAR		ORDENAR								

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
$I_{t-1}$	0	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	144	
$D_t$	144	180	162	180	234	216	198	216	198	234	234	144	2340
$Q_t$	144	342	0	180	234	216	198	216	198	234	378	0	2340
$I_t$	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	306
	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) =	\$	158.00
Costo total de almacenamiento (I <sub>t</sub> TOTAL X h) =	\$	26.32
<b>COSTO TOTAL =</b>	<b>\$</b>	<b>184.32</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Para ilustrar el procedimiento de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin a la MP3\_C (cuadro 3.2), se realiza la explicación de las primeras 3 etapas:

**Etapa 1 ( $F(1)$ )**

Demanda = 144

La primera etapa empieza realizando un pedido de 144 unidades que cubrirán por completo la demanda de enero. Los costos asociados son:

Costo por ordenar	\$15.8
Costo de almacenamiento	\$0
Costo total	\$15.8

Dado que no existe otra opción posible, se considera que esta es la forma óptima para alcanzar el objetivo de satisfacer la demanda del mes de enero  $F(1) = \$15.8$ .

**Etapa 2 ( $F(2)$ )**

Mes	Ene.	Feb.
Demanda	144	180

Para determinar  $F(2)$ , se tienen dos opciones posibles:

- ❖ Opción 1: Pedir 144 unidades a principios de enero y 180 a principios de febrero.  
Costo de opción 1: Costo de la mejor opción de enero  $F(1)$  + costo de pedir a principios de febrero

Costo de la mejor opción de enero $F(1)$	\$15.8
Costo por ordenar en febrero para satisfacer demanda de febrero	\$15.8
Costo total	$\$15.8 + \$15.8 = \$31.60$

- ❖ Opción 2: Pedir suficiente (324 unidades) a inicios de enero para satisfacer las demandas de enero y febrero.

Costo de opción 2: Costo de pedir en enero + costo asociado al inventario de la demanda de febrero.

Costo por ordenar en enero para satisfacer demanda de enero y febrero	\$15.8
Costo asociado al inventario de la demanda de febrero	$180 * \$0.086 = \$15.48$
Costo total	$\$15.8 + \$15.48 = \$31.28$

El costo de la primera opción es menor al de la segunda. Aplicando la ecuación 2.1 se selecciona  $F(2) = \$31.28$  como el costo mínimo de las alternativas.

### Etapa 3 ( $F(3)$ )

Mes	Ene.	Feb.	Mar.
Demanda	144	180	162

Para determinar  $F(3)$ , se tienen 3 opciones posibles:

- ❖ Opción 1: Cubrir hasta el final de febrero de la mejor manera posible y pedir 163 unidades al inicio de marzo.

Costo de opción 1:

Costo de la mejor opción de febrero $F(2)$	\$31.28
Costo por ordenar en marzo para satisfacer demanda de marzo	\$15.8
Costo total	$\$31.28 + \$15.8 = \$47.08$

- ❖ Opción 2: Cubrir enero de la mejor manera posible y pedir 342 unidades a inicios de febrero para satisfacer las demandas de febrero y marzo.

Costo de opción 2:

Costo de la mejor opción de enero $F(1)$	\$15.8
Costo por ordenar en febrero para satisfacer demanda de febrero y marzo	\$15.8
Costo asociado al inventario de la demanda de marzo	$162 * \$0.086 = \$13.93$
Costo total	$\$15.8 + 15.8 + \$13.93 = \$45.53$

❖ Opción 3: Tener un solo pedido a inicios de enero que cubra los tres meses.

Costo de opción 3:

Costo por ordenar en enero para satisfacer la demanda de enero a marzo	\$15.8
Costo asociado al inventario de la demanda de febrero	$180 * \$0.086 * 1 = \$15.48$
Costo asociado al inventario de la demanda de marzo	$162 * \$0.086 * 2 = \$27.864$
Costo total	$\$15.8 + \$15.48 + \$27.864 = \$59.144$

Empleando la ecuación 2.1 se elige a la opción 2 como el costo mínimo de las alternativas y se tiene  $F(3) = \$45.53$ .

El proceso realizado en las tres etapas descritas anteriormente es repetitivo para las siguientes 9 etapas que terminan de cubrir el horizonte de planeación del cuadro 3.2. Conforme se avanza en cada etapa, la cantidad de opciones va aumentando hasta tener 78 opciones en total.

Después de obtener los 78 datos correspondientes a las 12 etapas aplicando la ecuación 2.2 del algoritmo de Wagner-Whitin se procede a obtener el reabastecimiento asociado a  $F(t)$  utilizando nuevamente la ecuación 2.1. El algoritmo indica que se debe realizar un pedido en diciembre sin embargo la empresa tiene un acuerdo con sus proveedores de no realizar pedidos en diciembre, la cantidad que necesita para ese mes la debe pedir en algún mes anterior. Debido a este acuerdo se decide en conjunto con el usuario de la materia prima tomar el mes de noviembre como el último reabastecimiento, sin embargo tomar esta decisión incrementa el costo de la política resultante.

En el ejercicio que se ha realizado de la MP3\_C el costo resultante es de \$187.73 con  $t' = 12$ ; al considerar el acuerdo existe el costo disminuye a \$184.32 con  $t' = 11$  (aunque en este caso el costo disminuye en la mayoría sucede lo contrario), se subraya el cuadro con el costo mínimo de ese periodo indicando que se debe realizar un pedido para satisfacer los meses de noviembre y diciembre. Al buscar el valor mínimo del mes 10 se tiene \$171.93 y al no existir otro valor a la izquierda entonces  $t'' = 10$  considerándolo como el costo mínimo del periodo e indicando que se debe realizar un segundo pedido en el mes de octubre. Para el periodo 9, nuevamente se tiene un solo valor, entonces  $t''' = 9$  indicando que se debe realizar un tercer pedido en el mes de septiembre. El mismo procedimiento se repite hasta el periodo cuatro donde  $t'''' = 4$ , para este periodo ya se deberán haber realizado ocho pedidos; sin embargo al pasar al tercer periodo el valor mínimo es \$45.53 y se tiene un valor a la izquierda de este, el cual también se resalta indicando que para  $t'''''' = 2$  el pedido debe incluir las necesidades de febrero y marzo. Por último, en el periodo 1, solo existe un valor por lo que se le considera como el valor mínimo  $t'''''''' = 1$  y debe realizar un nuevo pedido (ver tabla 3.2).

**Tabla 3.2. Política óptima de pedido al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP3_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	144	180	162	180	234	216	198	216	198	234	234	144
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)= 15.8	F(2)= 31.28	F(3)= 45.53	F(4)= 61.33	F(5)= 77.13	F(6)= 92.93	F(7)= 108.73	F(8)= 124.53	F(9)= 140.33	F(10)= 156.13	F(11)= 171.93	F(12)= 184.32
1	15.8	31.28	59.144	105.584	186.08	278.96	381.128	511.16	647.384	828.5	1029.74	1165.964
2		31.60	45.53	76.49	136.86	211.17	296.31	407.76	526.96	687.95	869.07	992.91
3			47.08	62.56	102.81	158.54	226.65	319.53	421.70	562.56	723.56	835.01
4				61.33	81.46	118.61	169.69	244.00	329.14	449.88	590.75	689.82
5					77.13	95.71	129.76	185.49	253.60	354.22	474.97	561.66
6						92.93	109.96	147.11	198.20	278.69	379.31	453.62
7							108.73	127.31	161.36	221.74	302.23	364.15
8								124.53	141.56	181.81	242.18	291.72
9									140.33	160.46	200.70	237.86
10										156.13	176.26	201.02
11											171.93	184.32
12												187.73
	ORDENAR	ORDENAR		ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Al concluir con las 12 etapas se tienen 10 reabastecimientos con un costo total de \$184.32. En la tabla 3.3 se presentan los 10 pedidos indicados al aplicar el algoritmo de W-W con la cantidad que se debe solicitar al proveedor ( $Q_t$ ), de igual manera se puede observar la cantidad de unidades en inventario ( $I_t$  e  $I_{t-1}$ ), los costos generados por el mismo, el costo resultante al tener los 10 pedidos y por último, el costo total de la política resultante para la materia prima.

Al tener ambas tablas (3.2 y 3.3) es posible notar que el costo resultante tanto en la tabla 3.2, como en la 3.3 son los mismos, corroborando que los cálculos en las 12 etapas son correctos.

**Tabla 3.3. Resultados de la política al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin.**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	144	
Dt	144	180	162	180	234	216	198	216	198	234	234	144	2340
Qt	144	342	0	180	234	216	198	216	198	234	378	0	2340
It	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	306
	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10
												Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) =	\$ 158.00
												Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) =	\$ 26.32
												<b>COSTO TOTAL =</b>	<b>\$ 184.32</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

El cálculo de las 78 opciones de la tabla “POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN” del cuadro 3.2 se empleó para cada una de las 25 materias primas, de igual manera se obtuvo su política de abastecimiento asociada (tabla RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN).

En el anexo C se pueden consultar todos los cálculos resultantes de la aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin a las 25 materias primas.

Dado que las demandas fueron modificadas para cumplir con el estándar pack mencionado en la descripción de los componentes (sección 3.1.1). Las cantidades en inventario al aplicar la política del algoritmo de Wagner-Whitin sufren cambios, generando incremento en el costo de almacenamiento y en consecuencia el costo total también. Continuando con el ejemplo de la materia prima 3 del componente C, se realiza el cambio con las demandas reales de la empresa (es decir, demandas que no cumplen con STD PACK) en la tabla de RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN. La nueva tabla es la 3.4.

**Tabla 3.4.** Resultados de la política al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin sin STD PACK.

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
$I_{t-1}$	0	3	177	8	14	17	14	15	7	3	10	152	
$D_t$	141	168	169	174	231	219	197	224	202	227	236	137	2325
$Q_t$	144	342	0	180	234	216	198	216	198	234	378	0	2340
$I_t$	3	177	8	14	17	14	15	7	3	10	152	15	435
¿ORDENA?	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) =	\$	158.00
Costo total de almacenamiento (I <sub>t</sub> TOTAL X h) =	\$	37.41
<b>COSTO TOTAL =</b>	<b>\$</b>	<b>195.41</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Como se describió en el párrafo anterior los cambios realizados en las cantidades de demanda modifican al inventario, tanto el número de pedidos como la cantidad ( $Q_t$ ) solicitada al proveedor se mantienen iguales; se observa que el costo de almacenamiento incrementa de \$26.32 a \$37.41 y el costo total aumenta de \$184.32 a \$195.41. (Los resultados de la modificación de la demanda también pueden ser consultados en el anexo C)

### 3.3 Política de inventario resultante para todos los productos

Una vez aplicado el algoritmo de Wagner-Whitin a las 25 materias primas, se obtuvieron los tamaños de lote óptimos ( $Q^*$ ) que minimizan los costos totales de los requerimientos y los periodos en que se deben solicitar los pedidos.

Los resultados se encuentran resumidos en las tablas 3.5, 3.6 y 3.7. En ellas también es posible apreciar que en la mayor parte de las materias primas resulto que se debe pedir exactamente lo demandado en cada periodo.

En el caso de la materia prima del componente B (tabla 3.5), solo la materia prima 3 (MP3\_B) resulta con solo 7 pedidos, en tanto que todas las demás tienen 11 pedidos. Los costos son los obtenidos al utilizar la demanda sin STD PACK. Los cuadros sombreados de gris y con 0 indican que no se hace pedido en ese periodo, la tabla

también contiene el costo total de aplicar la política de inventario resultante a las 12 materias primas.

**Tabla 3.5.** Resultados de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en las materias del componente B.

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B													
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	COSTO
MP1_B	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	49400	0	2542.87
MP2_B	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	40300	0	2198.71
MP3_B	1198	1198	1198	0	1198	0	1198	0	0	1198	1198	0	747.17
MP4_B	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	4810500	0	160149.11
MP5_B	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	8554	0	609.22
MP6_B	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	46000	0	1879.95
MP7_B	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	95256	0	3603.31
MP8_B	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	95000	0	3878.68
MP9_B	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365472	0	12990.04
MP10_B	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	30000	0	1754.39
MP11_B	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	14700	0	895.44
MP12_B	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	26000	0	1718.27
												<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 192,967.16</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

En el caso de la materia prima del componente C (tabla 3.6), 5 de las 7 deben realizar 11 pedidos, en tanto la MP2\_C solo debe solicitar 7 pedidos y 10 en la MP3\_C.

**Tabla 3.6.** Resultados de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en las materias primas del componente C.

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MP_C													
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	COSTO
MP1_C	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	105850	184150	0	7326.91
MP2_C	1198	0	1198	0	1198	1198	0	1198	0	1198	1198	0	666.85
MP3_C	144	342	0	180	234	216	198	216	198	234	378	0	195.41
MP4_C	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	132104	0	5045.36
MP5_C	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	10880	0	1210.45
MP6_C	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	10448	0	1099.56
MP7_C	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	3540600	0	128339.11
												<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 143,883.65</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla 3.7.** Resultados de la aplicación del algoritmo Wagner-Whitin en las materias primas de ambos componentes.

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MP_AMBOS													
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	COSTO
MP1_A	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	2000	0	820.32
MP2_A	1600	0	800	800	800	1600	800	0	800	800	1600	0	612.92
MP3_A	2345	2380	1995	2940	2485	2450	3640	2415	2310	2485	4550	0	347.97
MP4_A	2880	3456	2304	2880	3456	2880	4032	3456	2304	3456	6336	0	645.08
MP5_A	2500	1250	1250	2500	3750	1250	2500	1250	1250	1250	1250	0	766.00
MP6_A	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	29000	0	1567.77
												<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 4,760.06</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

De las 6 materias primas que se utilizan tanto para el componen B como el C, solo en la MP2\_A se tendrán que realizar 10 pedidos, mientras que en las otras 5 deberán solicitar 11 pedidos como queda expuesto en la tabla 3.7.

### 3.4 Escenarios propuestos

En los siguientes dos escenarios se modifican los costos de almacenamiento y pedido. En el primer escenario se modifica el costo de pedido considerando el costo de enviar la materia prima por tierra; mientras que para el segundo escenario el costo de pedido toma el valor de enviarla por aire, ambos escenarios consideran el costo de almacenamiento como el 20% del valor del componente. (Los datos son proporcionados por la empresa).

#### Escenario 1 (tierra)

Los costos considerados para aplicar nuevamente el algoritmo de Wagner-Whitin son:

- Costo por ordenar  $A = \$ 6000.00 / \text{pedido}$
- Costo de almacenamiento
  - Componente B,  $h = \$10.8 \text{ unidades/mes}$
  - Componente C,  $h = \$8.6 \text{ unidades/mes}$

El resultado de aplicar el algoritmo de W-W con los nuevos costos se tiene en las tres tablas que conforman al cuadro 3.3. Para el caso de la materia prima del componente B, once de las doce materias se deben solicitar mensualmente, en las del componente C, cinco resultaron con abastecimientos mensuales y para el caso de las materias de ambos componentes solo una de las seis no solicitan mensualmente.

**Cuadro 3.3. Resultados del algoritmo Wagner-Whitin para el escenario 1.**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B														
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MA YO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	COSTO	
MP1_B	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	49400	0	363510.52	
MP2_B	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	40300	0	320291.08	
MP3_B	1198	1198	1198	0	1198	0	1198	0	0	1198	1198	0	121941.60	
MP4_B	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	4810500	0	20155922.40	
MP5_B	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	8554	0	120680.18	
MP6_B	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	46000	0	280261.20	
MP7_B	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	95256	0	496682.40	
MP8_B	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	95000	0	531264.00	
MP9_B	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365472	0	1675480.80	
MP10_B	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	30000	0	264493.20	
MP11_B	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	14700	0	156625.18	
MP12_B	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	26000	0	259957.20	
													<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 24,747,109.75</b>

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MP_C														
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MA YO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	COSTO	
MP1_C	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	106850	184150	0	781311.28	
MP2_C	1198	0	1198	0	1198	1198	0	1198	0	1198	1198	0	97624.80	
MP3_C	486	0	0	630	0	0	612	0	0	612	0	0	44923.80	
MP4_C	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	132104	0	553155.60	
MP5_C	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	10880	0	169665.16	
MP6_C	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	10448	0	158576.12	
MP7_C	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	3540600	0	12882530.76	
													<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 14,687,787.52</b>

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MP_AMBOS														
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MA YO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	COSTO	
MP1_A	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	2000	0	147191.05	
MP2_A	1600	0	800	800	800	1600	800	0	800	800	1600	0	113114.23	
MP3_A	2345	2380	1995	2940	2485	2450	3640	2415	2310	2485	4550	0	87872.16	
MP4_A	2880	3456	2304	2880	3456	2880	4032	3456	2304	3456	6336	0	125184.00	
MP5_A	2500	1250	1250	2500	3750	1250	2500	1250	1250	1250	1250	0	140368.80	
MP6_A	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	29000	0	241057.20	
													<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 854,787.44</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## Escenario 2 (aire)

Los costos a considerar son:

- Costo por ordenar  $A = \$ 30000.00 / pedido$
- Costo de almacenamiento
  - Componente B,  $h = \$10.8 unidades/mes$
  - Componente C,  $h = \$8.6 unidades/mes$

**Cuadro 3.4. Resultados del algoritmo Wagner-Whitin para el escenario 2.**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B														
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CO STO	
MP1_B	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	49400	0	627510.52	
MP2_B	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	40300	0	584291.08	
MP3_B	3594	0	0	0	2396	0	0	0	0	2396	0	0	247572.00	
MP4_B	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	4810500	0	20419922.40	
MP5_B	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	8554	0	384680.18	
MP6_B	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	46000	0	544261.20	
MP7_B	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	95256	0	760682.40	
MP8_B	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	95000	0	795264.00	
MP9_B	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365472	0	1939480.80	
MP10_B	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	30000	0	528493.20	
MP11_B	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	14700	0	420625.18	
MP12_B	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	26000	0	523997.20	
													<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 27,776,740.15</b>

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MP_C														
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CO STO	
MP1_C	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	105850	184150	0	1045311.28	
MP2_C	2396	0	0	0	2396	0	0	1198	0	2396	0	0	216836.00	
MP3_C	1116	0	0	0	0	0	1224	0	0	0	0	0	112967.40	
MP4_C	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	132104	0	817155.60	
MP5_C	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	10880	0	433665.16	
MP6_C	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	10448	0	422576.12	
MP7_C	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	3540600	0	13146530.76	
													<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 16,195,042.32</b>

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN PARA MP_AMBOS														
MP MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CO STO	
MP1_A	3000	0	3000	0	3000	0	4000	0	3000	0	2000	0	336791.05	
MP2_A	1600	0	2400	0	0	2400	0	0	1600	0	1600	0	252314.23	
MP3_A	2345	4375	0	2940	4935	0	6055	0	4795	0	4550	0	332798.16	
MP4_A	2880	5760	0	2880	3456	2880	4032	5760	0	3456	6336	0	378950.40	
MP5_A	3750	0	3750	0	5000	0	3750	0	3750	0	0	0	332368.80	
MP6_A	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	29000	0	505057.20	
													<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 2,138,279.84</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

En el caso del escenario 2, nuevamente en las materias primas del componente B once de ellas resultaron con pedidos semestrales, para las del componente C también las mismas cinco que resultaron con pedidos mensuales en el escenario 1 lo fueron en este nuevo escenario. Donde se encontró un cambio importante fue en las materias usadas en ambos componentes, ya que al modificar el costo de almacenamiento resultó que solo dos se deben pedir mensualmente en tanto que las otras cuatro tienen diferentes periodos para surtir (ver cuadro 3.4).

### **3.5 Comparación de resultados**

Basándose en los resultados obtenidos de los escenarios propuestos de la sección 3.4, la política resultante en la sección 3.3 y la política que la empresa actualmente emplea, se obtiene el cuadro 3.5, con el propósito de comparar la forma de realizar los pedidos de cada sección.

**Cuadro 3.5.** Comparativa de pedidos resultantes en los distintos escenarios al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin y la política aplicada por la empresa.<sup>1</sup>

Tabla 1				
PEDIDOS RESULTANTES PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B				
MP MES	POLÍTICA EMPRESA	POLÍTICA W-W	POLÍTICA W-W ESCENARIO 1	POLÍTICA W-W ESCENARIO 2
MP1_B	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP2_B	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP3_B	BIMESTRAL	ENE, FEB, MAR, MAY, JUL, OCT Y NOV	ENE, FEB, MAR, MAY, JUL, OCT Y NOV	ENE, MAY Y OCT
MP4_B	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP5_B	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP6_B	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP7_B	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP8_B	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP9_B	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP10_B	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP11_B	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP12_B	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL

Tabla 2				
PEDIDOS RESULTANTES PARA MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE C				
MP MES	POLÍTICA EMPRESA	POLÍTICA W-W	POLÍTICA W-W ESCENARIO 1	POLÍTICA W-W ESCENARIO 2
MP1_C	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP2_C	BIMESTRAL	ENE, MAR, MAY, JUN, AGO, OCT Y NOV	ENE, MAR, MAY, JUN, AGO, OCT Y NOV	ENE, MAY, AGO Y OCT
MP3_C	BIMESTRAL	MENSUAL Y BIMESTRAL SOLO FEB Y NOV	ENE, ABR, JUL Y OCT	ENE Y JUL
MP4_C	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP5_C	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP6_C	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP7_C	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL

Tabla 3				
PEDIDOS RESULTANTES DE MATERIA PRIMA PARA AMBOS COMPONENTES				
MP MES	POLÍTICA EMPRESA	POLÍTICA W-W	POLÍTICA W-W ESCENARIO 1	POLÍTICA W-W ESCENARIO 2
MP1_A	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	BIMESTRAL
MP2_A	BIMESTRAL	MENSUAL Y BIMESTRAL EN ENE, JUL Y NOV	MENSUAL Y BIMESTRAL EN ENE, JUL Y NOV	ENE, FEB, ABR, MAY, JUL, SEP Y NOV
MP3_A	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL Y BIMESTRAL EN FEB, MAY, JUL, SEP Y NOV
MP4_A	BIMESTRAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL Y BIMESTRAL EN FEB, AGO Y NOV
MP5_A	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
MP6_A	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

<sup>1</sup> Significado de colores en las tablas del cuadro 3.5

	Pedidos mensuales
	Pedidos bimestrales
	Pedidos tanto mensuales como bimestrales
	Pedidos en distintos periodos del año

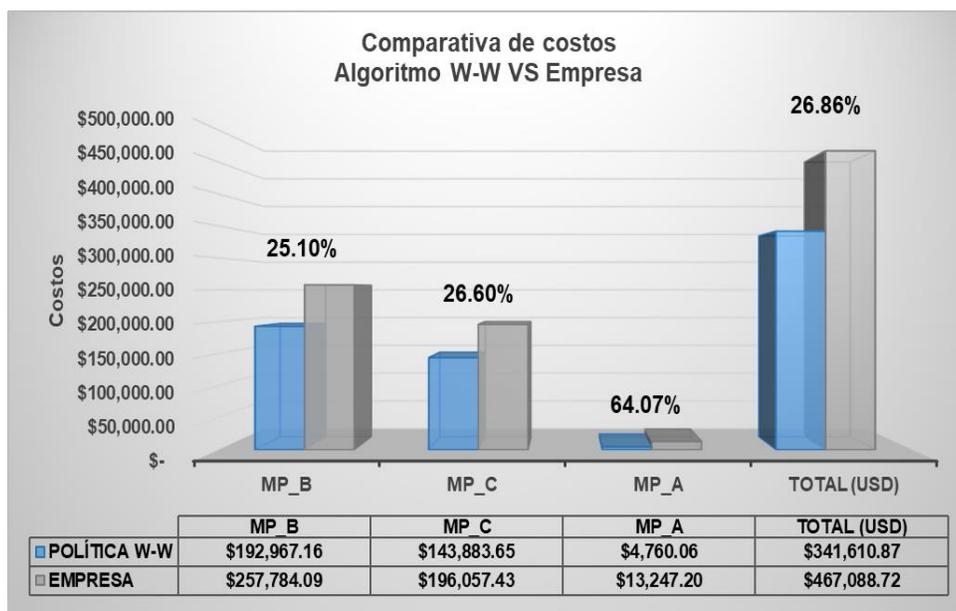
La primera tabla del cuadro 3.5, se refiere a la materia prima utilizada en el componente B, en ella se puede observar que la propuesta de solución generada (columna de POLÍTICA W-W) establece pedidos mensuales en 11 materias primas y solo en MP3\_B diferentes periodos para pedir (ene, feb, mar, may, jul, oct y nov), el resultado al aplicar el algoritmo de W-W pero con diferentes costos de pedido y almacenamiento (columna POLÍTICA W-W ESCENARIO 1) es el mismo que usando los parámetros originales proporcionados por la empresa; por último en el caso del segundo escenario los resultados son similares en las mismas 11 materias primas de la política W-W del escenario 1, aunque se módica las cantidad de pedidos en MP3\_B de 7 a solo 3.

Para la segunda tabla del cuadro 3.5, nuevamente existe coincidencia en 5 materias primas del componente C en la forma de realizar los pedidos para la política que se le propone a la empresa y los dos escenarios considerados de la sección 3.4. En el caso de la MP3\_C en cada una de las distintas situaciones analizadas la forma de realizar los pedidos es diferente y para la MP2\_C solo hay coincidencia entre la política de W-W propuesta a la empresa y el escenario 1.

La coincidencia en la forma de realizar pedidos para la materia prima utilizada en ambos componentes se presentó entre la propuesta de política W-W generada para la empresa y el escenario 1, en tanto que la del escenario 2 fue muy diferente en cuatro materias primas (ver tabla 3 del cuadro 3.5).

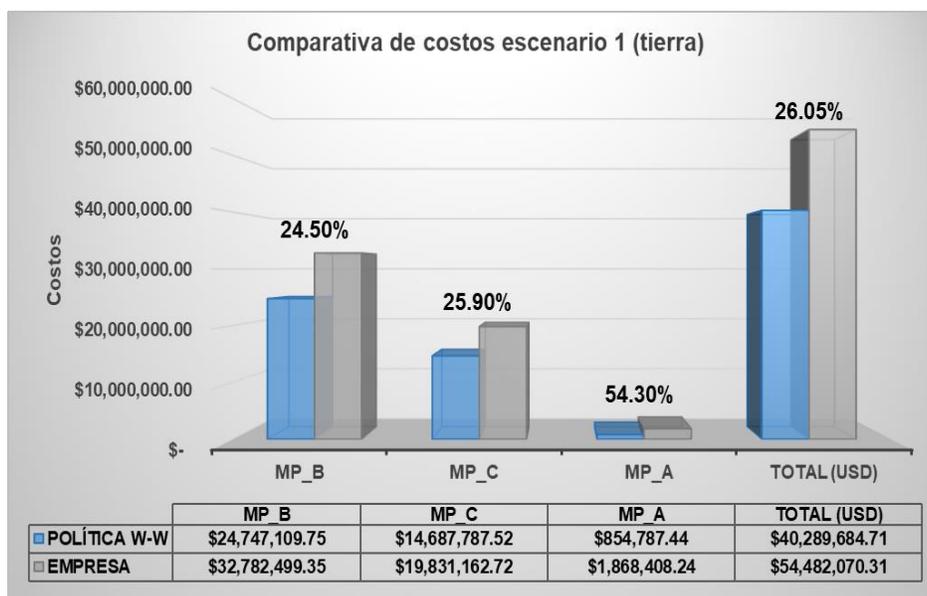
Al tener estos resultados nos hacemos la pregunta ¿qué pasa con los costos?, para responder la pregunta se elaboran las gráficas de la figura 3.2, 3.3 y 3.4.

Los costos totales de los tres grupos de materias primas conforme a la política propuesta a la empresa y que se basa en el algoritmo de Wagner-Whitin son de \$341,610.87 dólares anuales, mientras que la empresa está gastando \$467,088.72 dólares (ver figura 3.2). Al aplicar el algoritmo de W-W la compañía ahorraría un 26.86% de sus costos actuales equivalente a \$125,477.85 dólares.



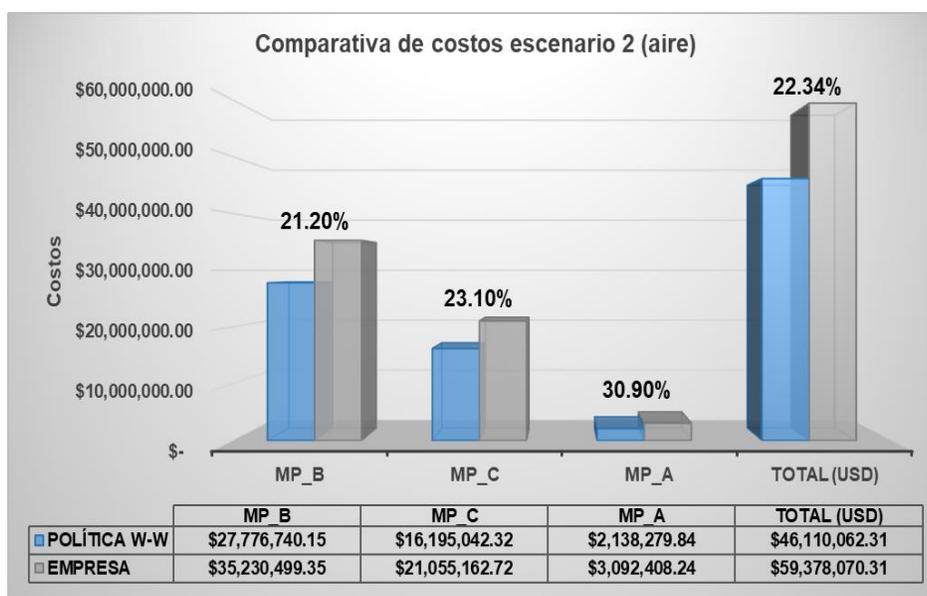
**Figura 3.2.** Comparativa de costos con la política propuesta de Wagner-Whitin y la empresa. (Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Al analizar los costos que se obtuvieron modificando los parámetros de costo de almacenamiento y pedido (escenario 1) nuevamente se tendría un ahorro, pero ahora sería del 26.05% equivalente a \$14,192,385.60 dólares anuales. A pesar de haber aumentado los costos se sigue teniendo ahorro al comparar con lo que la empresa hace actualmente. En la figura 3.3 se tiene los ahorros que se obtienen en cada grupo de materias primas.



**Figura 3.3.** Comparativa de costos con la política propuesta de Wagner-Whitin escenario 1 y la empresa.  
(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

En el caso del escenario 2, se aumenta el costo de pedido y el de almacenamiento se mantiene igual que en el escenario 1, pero a pesar de ello se sigue obteniendo un ahorro de 22.34% aplicando el algoritmo de Wagner-Whitin (ver figura 3.4).



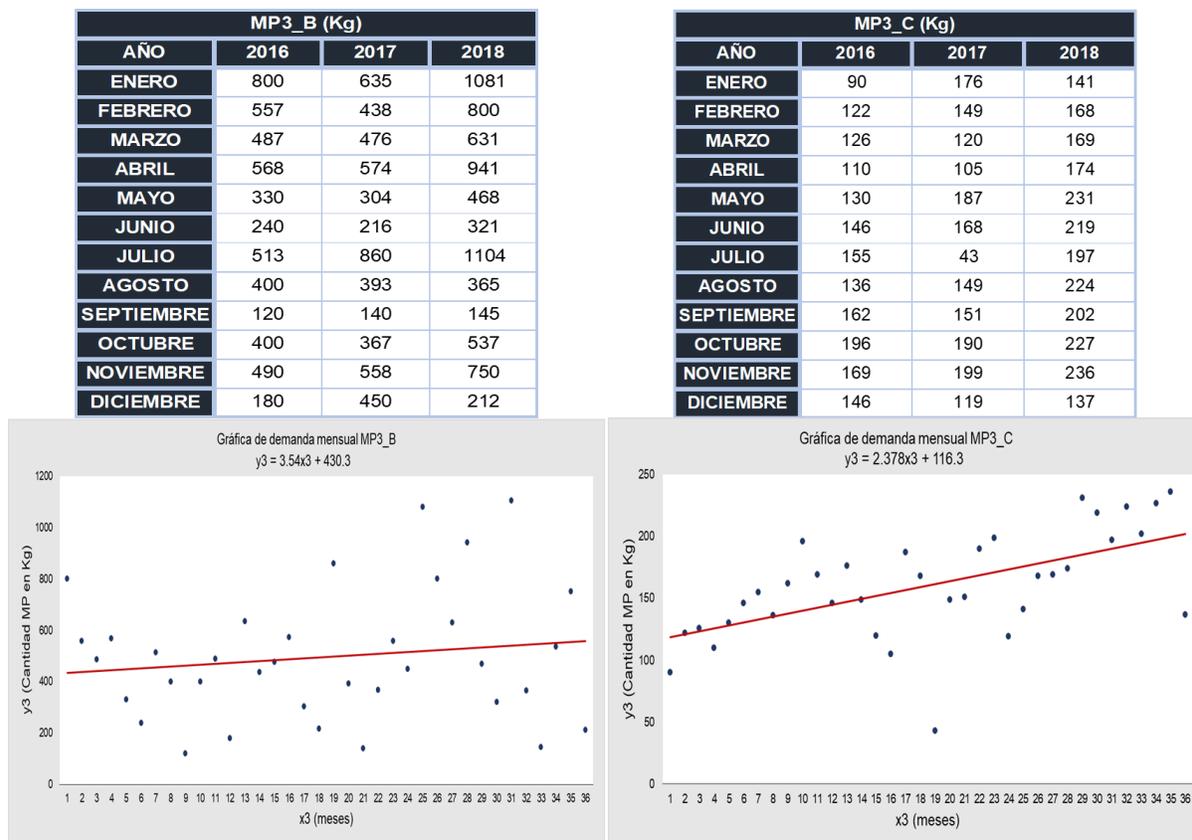
**Figura 3.4.** Comparativa de costos con la política propuesta de Wagner-Whitin escenario 2 y la empresa.  
(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

### 3.6 Recomendaciones

Debido a que el área de materiales no realiza ningún tipo de análisis cualitativo sobre la demanda de materias primas y teniendo la inquietud sobre las demandas dadas por finanzas, se elabora esta sección con el propósito de mostrar a la empresa una herramienta estadística que le permita identificar los patrones que sigue la demanda de materias primas para después elaborar pronósticos de su demanda. Los métodos utilizados fueron descritos en la sección 2.3.3. El procedimiento se describe a continuación:

- A. Graficar datos mensuales de los años 2016, 2017 y 2018 de cada materia prima.

En la figura 3.5 se tienen datos mensuales de demanda y su respectiva gráfica de una materia prima del componente B y otra del C, además de presentar la recta de tendencia ajustada y su ecuación (la ecuación fue calculada por Minitab (versión 17) (Minitab Inc., 2017) y el método que utiliza es el de mínimos cuadrados). Se puede observar que ambas gráficas presentan una relación lineal positiva. Sin embargo esta afirmación carece de ser una estimación segura, por lo que se procede a realizar las respectivas pruebas de hipótesis y determinar si existe relación lineal entre la cantidad de materia prima requerida ( $y$ ) y el periodo de compra ( $x$ ).



**Figura 3.5.** Gráfica de demanda mensual de la materia prima del componente B y C.  
(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

B. Determinar pruebas de hipótesis para establecer si existe o no una relación lineal entre las variables  $x$  y  $y$ .

A continuación se realizan las pruebas de hipótesis para las materias primas de la figura 3.5.

### Prueba de hipótesis para MP3\_B

Paso 1: Plantear hipótesis nula y alternativa.

$$\text{Hipótesis nula } H_0: \beta_1 = 0$$

$$\text{Hipótesis alternativa } H_a: \beta_1 \neq 0$$

Paso 2: Seleccionar el nivel de significancia.

$$\alpha = 0.05 \Rightarrow \alpha/2 = 0.025$$

Paso 3: Seleccionar el estadístico de prueba.

Se utiliza la prueba  $t$  descrita en el capítulo 2. El valor del estadístico de prueba se obtiene utilizando Minitab17 (versión 17) (Minitab Inc., 2017):

$$t = 0.87$$

Paso 4: Indicar regla de decisión.

Rechazo  $H_0$  si  $t \leq -t_{\alpha/2, n-2}$  o si  $t \geq t_{\alpha/2, n-2}$ , concluyendo  $\beta_1 \neq 0$  y que entre las dos variables existe una relación estadísticamente significativa.

$$t_{\alpha/2, n-2} = t_{0,025,34} = 2.0336$$

El valor de  $t$  se obtiene de la tabla A.4 Valores críticos de la distribución  $t$ . (Walpole et al., 2012)

Paso 5: Comprobar el valor del estadístico y llegar a una conclusión.

$$t \geq t_{0,025,34}$$

$0.86 < 2.0336$  Por lo tanto NO RECHAZO  $H_0$ , indicando  $\beta_1$  es igual a cero y con esto, se concluye que no existe relación lineal entre la materia prima requerida ( $y$ ) y el periodo de compra ( $x$ ).

### Prueba de hipótesis para MP3\_C

Paso 1: Plantear hipótesis nula y alternativa.

$$\text{Hipótesis nula } H_0: \beta_1 = 0$$

$$\text{Hipótesis alternativa } H_a: \beta_1 \neq 0$$

Paso 2: Seleccionar el nivel de significancia.

$$\alpha = 0.05 \Rightarrow \alpha/2 = 0.025$$

Paso 3: Seleccionar el estadístico de prueba.

Nuevamente se utiliza la prueba  $t$  y el valor se obtiene usando Minitab.

$$t = 4.20$$

Paso 4: Indicar regla de decisión.

Rechazo  $H_0$  si  $t \leq -t_{\alpha/2, n-2}$  o si  $t \geq t_{\alpha/2, n-2}$

$$t_{\alpha/2, n-2} = t_{0,025,34} = 2.0336$$

El valor de  $t$  se obtiene de la tabla A.4 Valores críticos de la distribución  $t$ . (Walpole et al., 2012)

Paso 5: Comprobar el valor del estadístico y llegar a una conclusión.

$$t \geq t_{0,025,34}$$

4.20 > 2.0336 Por lo tanto RECHAZO  $H_0$ , indicando que  $\beta_1$  no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida ( $y$ ) y el periodo de compra ( $x$ ).

- C. Calcular índices estacionales para determinan estacionalidad en los datos de demanda.

El procedimiento utilizado es el explicado en el capítulo 2 de la sección 2.3.3

#### **Índices estacionales de MP3\_B**

Los resultados del promedio móvil, promedio móvil centrado, valor estacional irregular e índice estacional se tienen en la tabla 3.8, en la misma tabla se describe como se realizó el cálculo del primer dato para cada columna, el procedimiento es el descrito en el capítulo 2, método de descomposición multiplicativo. Dado que el resultado en la sumatoria de los promedios no ajustados, no es 12, se tiene que realizar ajuste. Para ello se divide  $12/11.887 = 1.010$  y este es el número por el que se debe multiplicar cada uno de los promedios no ajustados para obtener los distintos índices estacionales (ejemplo: *Enero* =  $1.684 * 1.010 = 1.700$ ).

**Tabla 3.8. Procedimiento de cálculo de índices estacionales de MP3\_B.**

MES	t	Yt	PROMEDIO MÓVIL	PROMEDIO MÓVIL CENTRADO	VALOR ESTACIONAL IRREGULAR	IT
ENERO	1	800.00				
FEBRERO	2	557.00				
MARZO	3	487.00				
ABRIL	4	568.00				
MAYO	5	330.00				
JUNIO	6	240.00	423.750			
JULIO	7	513.00	410.000	416.875	1.231	
AGOSTO	8	400.00	400.083	405.042	0.988	
SEPTIEMBRE	9	120.00	399.167	399.625	0.300	
OCTUBRE	10	400.00	399.667	399.417	1.001	
NOVIEMBRE	11	490.00	397.500	398.583	1.229	
DICIEMBRE	12	180.00	395.500	396.500	0.454	
ENERO	13	635.00	424.417	409.958	1.549	
FEBRERO	14	438.00	423.833	424.125	1.033	
MARZO	15	476.00	425.500	424.667	1.121	
ABRIL	16	574.00	422.750	424.125	1.353	
MAYO	17	304.00	428.417	425.583	0.714	
JUNIO	18	216.00	450.917	439.667	0.491	
JULIO	19	860.00	488.083	469.500	1.832	
AGOSTO	20	393.00	518.250	503.167	0.781	
SEPTIEMBRE	21	140.00	531.167	524.708	0.267	
OCTUBRE	22	367.00	561.750	546.458	0.672	
NOVIEMBRE	23	558.00	575.417	568.583	0.981	
DICIEMBRE	24	450.00	584.167	579.792	0.776	
ENERO	25	1081.00	604.500	594.333	1.819	
FEBRERO	26	800.00	602.167	603.333	1.326	
MARZO	27	631.00	602.583	602.375	1.048	
ABRIL	28	941.00	616.750	609.667	1.543	
MAYO	29	468.00	632.750	624.750	0.749	
JUNIO	30	321.00	612.917	622.833	0.515	
JULIO	31	1104				
AGOSTO	32	365				
SEPTIEMBRE	33	145				
OCTUBRE	34	537				
NOVIEMBRE	35	750				
DICIEMBRE	36	212				

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	AJUSTE	
	1.549	1.033	1.121	1.353	0.714	0.491	1.231	0.988	0.300	1.001	1.229	0.454	Σ DE 12	12
	1.819	1.326	1.048	1.543	0.749	0.515	1.832	0.781	0.267	0.672	0.981	0.776	MESES = 12	Σ 12 MESES
PROMEDIO NO AJUSTADO	1.684	1.179	1.084	1.448	0.732	0.503	1.531	0.884	0.284	0.837	1.105	0.615	11.887	1.010
INDICE ESTACIONAL	1.700	1.191	1.095	1.462	0.739	0.508	1.546	0.893	0.286	0.844	1.116	0.621	12	

**Erika Montes de Oca:**  
a) Se obtiene utilizando los primeros 12 datos, posteriormente se va descartando el primer dato y se continua con el siguiente.

**Erika Montes de Oca:**  
b) Se obtiene utilizando los primeros 2 datos de la columna de promedio móvil, los sig. se realizan de la misma forma pero descartando al primer dato y así sucesivamente.  
**416.875=PROMEDIO(D8:D9)**

**Erika Montes de Oca:**  
c) Se divide Yt / promedio móvil centrado.  
**513/416.875= 1.231**

**Erika Montes de Oca:**  
a) Se obtiene utilizando los primeros 12 datos, posteriormente se va descartando el primer dato y se continua con el siguiente.

**Erika Montes de Oca:**  
b) Se obtiene utilizando los primeros 2 datos de la columna de promedio móvil, los sig. se realizan de la misma forma pero descartando al primer dato y así sucesivamente.  
**416.875=PROMEDIO(D8:D9)**

**Erika Montes de Oca:**  
c) Se divide Yt / promedio móvil centrado.  
**513/416.875= 1.231**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Una vez terminadas las pruebas de hipótesis a las 25 materias primas y los cálculos para obtener los distintos índices estacionales, se concluye:

- De las 12 materias primas para el componente B, solo dos no presentan tendencia lineal (MP3\_B y MP12\_B) y las 10 restantes si tienen este patrón. Respecto a la estacionalidad, se considera que las doce materias primas son estacionales.

- De las 7 materias primas para el componente C, solo la MP2\_C no presenta tendencia lineal, las seis restantes si tienen el patrón y todas son estacionales.
- En el caso de las materias primas usadas en ambos componentes, dos de las seis no presentan tendencia lineal (MP2\_A y MP5\_A) y a las seis se les considera con estacionalidad.

(Los cálculos resumidos tanto de las pruebas de hipótesis como de los distintos índices estacionales se encuentran en las tablas del anexo D).

El comportamiento de demanda de materias primas se realizó a través de métodos estadísticos, donde los patrones fueron estacionales y con tendencia en 20 materias primas y para las cinco restantes sin tendencia y estacionalidad, con estos resultados es posible seleccionar algún método de pronóstico.

- En series de tiempo con patrones de tendencia lineal y estacional los métodos pueden ser descomposición aditiva o multiplicativa, Winter, regresión múltiple y Box-Jenkins. (Hanke y Wichern, 2010)
- En series de tiempo con patrones estacionales y sin tendencia es posible utilizar métodos como Box-Jenkins y descomposición multiplicativa. (Hanke y Wichern, 2010; Anderson et al., 2008)

La selección del método a utilizar para los pronósticos, dependerá de aquel que produzca el error de pronóstico más pequeño.

## Conclusiones

De acuerdo al objetivo planteado en el capítulo 1 de este proyecto terminal de grado, se concluye que el objetivo se logró, dado que la política resultante al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin arrojó un costo total de \$341,610.87 contra \$467,088.72 dólares anuales gastados por la empresa, esto genera un ahorro de 26.86% equivalente a \$125,477.85 dólares anuales. El resultado superó con un 16.86% al objetivo de disminuir en al menos 10% el costo total de almacenamiento y pedido involucrado en la compra de materia prima de los componentes B y C.

Para lograr el objetivo primero fue necesario identificar y analizar la estructura actual del control de inventario que tiene la empresa, durante este análisis se encontró una oportunidad de mejora, la cual consiste en modificar la regla para el redondeo a entero de las cantidades de materia prima requerida en la manufactura de los componentes B y C. La empresa sigue una regla de subir (si el decimal  $\geq 0.25$ ) o bajar (si el decimal  $< 0.25$ ) los números decimales al entero más próximo, en tanto que la propuesta mostrada en el trabajo fue ir sumando o restando mes a mes esos decimales, para evitar en la medida de lo posible inventario de materia prima en el almacén de la empresa de estudio. El resultado del cambio en la regla arrojó cantidades por debajo de las contempladas por la compañía, contribuyendo en la reducción de costos de almacenamiento de inventario. Haber analizado la estructura actual del control de inventario permitió mostrarle a la empresa que a pesar de que el número de pedidos aumenta, la cantidad de materia prima disminuye considerablemente en el almacén alcanzando un costo menor a lo que tienen actualmente e inclusive el manejo de material también es beneficiado, dado que hay menor cantidad para mover.

El comportamiento de la demanda de materias primas se identificó como determinístico y variable en el tiempo, dado que es un parámetro proporcionado por el área de finanzas, el cual no se permite modificar.

La decisión de aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin para darle solución al problema planteado, primero se basa en que la demanda se considera como determinística y variable, segundo los costos involucrados en el objetivo planteado son los mismos costos que el algoritmo considera para ejecutarse y por último, los supuestos descritos en el capítulo 2 del algoritmo también son aplicables a la empresa involucrada en el estudio.

Los resultados mostraron que para cada uno de los 3 grupos propuestos (materia prima de componente B, materia prima de componente C y materia prima de ambos componentes) en el trabajo se tienen ahorros al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin. En el caso de la materia prima del componente B se obtuvo un ahorro de \$64,816.93 dólares anuales, en el componente C el ahorro fue de \$52,173.78 dólares y por último para las materias primas de ambos componentes se consigue un ahorro de \$8,487.14 dólares anuales.

De igual manera al considerar el aumento en los costos de almacenamiento y pedido mostrados en el escenario 1 y 2, se observó que aplicando el algoritmo de Wagner-Whitin se vuelven a tener ahorros en comparación con lo que hace la empresa y sobre todo los resultados fueron muy similares respecto a la cantidad de pedidos que se deben realizar para las diferentes materias primas.

Queda demostrado que cuando una empresa decide aplicar modelos matemáticos para la administración de sus inventarios, los beneficios alcanzados llegan a ser más de lo esperado, además de lograr ventajas competitivas al mantener sus objetivos de costo dentro o por debajo de sus parámetros establecidos. La aplicación del modelo también permite llevar un mejor control de los niveles de materia prima en almacén, ya que al mantener menos cantidad de inventario su manejo es más controlado, evitando la pérdida de material con caducidad y de las mismas existencias.

Finalmente, se deja al tomador de decisiones de la empresa de estudio, utilizar la propuesta generada en este proyecto como una herramienta para la manera de abastecer sus materias primas en el futuro. A así también se anexa un apartado de recomendaciones, en el que se describe un método estadístico para calcular e identificar el patrón de demanda de sus materias primas, esto con el propósito de seleccionar un método de pronóstico apropiado que le permita tener bases teóricas para comparar con las demandas proyectadas del área de finanzas y con ello tomar mejores decisiones en el cálculo y compra de los insumos necesarios para la producción de los componentes B y C.

## Referencias

- Alfares, H. K. (2007). Inventory model with stock-level dependent demand rate and variable holding cost. *International Journal of Production Economics*, 108, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.013>
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J. y Williams, T. A. (2008). *Estadística para Administración y Economía*. Recuperado a partir de <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-13-Estadistica-para-administracion-y-economia.pdf>
- Arango, M. D., Adarme, W. y Zapata, J. A. (2013). Inventarios Colaborativos en la Optimización de la Cadena de Suministros. *Dyna*, 80(181), 71–80. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49628728008>
- Axsäter, S. (2006). *Inventory Control. Intenational Series in Operations Research & Management Science*. New York: Springer Science.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson.
- Cáceres, D., Reyes, J. y García, M. (2015). Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 28(2), 24–33.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y Control de la producción*. México: Pearson.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R. y Aquilano, N. J. (2009). *Administración de Operaciones: Producción y cadena de suministros*. México, D.F: McGraw-Hill.
- Chopra, S. y Meindl, P. (2008). *Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson.
- Chuka, C. E., Oguejiofor, N. J. y Sunday, A. C. (2016). Evaluation and Optimization of Inventory Control Systems in Small and Medium Scale Industries. *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering*, 2(1), 1–13.

- Contreras, A., Zuñiga, C. A., Martínez, J. L. y Sánchez, D. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. *Estudios Gerenciales*, 32, 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.11.002>
- Gallego, G. y Özer, Ö. (2001). Integrating Replenishment Decisions with Advance Demand Information. *Management Science*, 47(10), 1344–1360. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.10.1344.10261>
- Hanke, J. E. y Wichern, D. W. (2010). *Pronósticos en los negocios*. México: Pearson.
- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de operaciones*. México, D.F: McGraw-Hill.
- Levin, R. I. y Rubin, D. S. (2004). *Estadística para administración y economía*. México: Pearson.
- Mahendra, P. y Harwinder, S. (2008). Evaluation and Economic Selection of Raw Materials' Inventory Control Policies: A Case Study. *The IUP Journal of Operations Management* .
- Minitab Inc. (2017). Minitab 17 Statistical Software. State College, Pennsylvania.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L. y Kulahci, M. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nallusamy, S., Balaji, R. y Sundar, S. (2017). Proposed Model for Inventory Review Policy through ABC Analysis in an Automotive Manufacturing Industry. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 165–174. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.165>
- Parada, Ó. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Cuad. Adm. Bogotá (Colombia)*, 22(38), 169–187.
- Prak, D., Teunter, R. y Syntetos, A. (2016). On the calculation of safety stocks when demand is forecasted. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.035>

- Ravindran, A. R. (2008). *Operations Research and Management Science Handbook*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Ravindran, A. R. y Warsing Jr., D. P. (2013). *Supply Chain Engineering: Models and Applications*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Rego, J. R. y Mesquita, M. A. (2011). Controle de estoque de peças de reposição em local único: uma revisão da literatura. *Produção*, 21(4), 656–666.
- Sadjadi, S., Aryanezhad, M. B. G. y Sadeghi, H. A. (2009). An Improved Wagner-Whitin Algorithm. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, 20(3), 117–123.
- Shenoy, D. y Rosas, R. (2018). Lot-Sizing Heuristics. En *Problems & Solutions in Inventory Management*. Springer, Cham.
- Silver, E. A., Pyke, D. F. y Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: Wiley.
- Slater, P. (2010). *Smart Inventory Solutions: Improving the Management of Engineering Materials and Spare Parts*. New York: Industrial Press Inc.
- Taleizadeh, A. A. y Noori-daryan, M. (2016). Pricing, manufacturing and inventory policies for raw material in a three-level supply chain. *International Journal of Systems Science*, 47(4), 919–931.
- Teng, J. T. y Yang, H. L. (2007). Deterministic Inventory Lot-Size Models with Time-Varying Demand and Cost under Generalized Holding Costs. *International Journal of Information and Management Sciences*, 18(2), 113–125.
- Vargas, V. (2009). An optimal solution for the stochastic version of the Wagner-Whitin dynamic lot-size model. *European Journal of Operational Research*, 198(2), 447–451. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.09.003>
- Vidal, C. J., Londoño, J. C. y Contreras, F. (2004). Aplicación de Modelos de Inventarios en una Cadena de Abastecimiento de Productos de Consumo Masivo con una Bodega y N Puntos de Venta. *Ingeniería y Competitividad*, 6(1), 35–52.

Wagner, H. M. y Whitin, T. M. (2004). Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science*, 50(12S), 1770–1774.  
<https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0262>

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. y Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson.

Wang, M.-C. (2007). A study of inventory policy for correlated demands. *International Journal of Business and Systems Research*, 1(2), 135–147.

## **Anexos**

### **Anexo A**

La tabla A.1 muestra los datos de demanda mensual del componente B de cada una de las 12 materias primas utilizadas en el proceso de manufactura del componente.

Tabla A.1. Historial mensual de demanda de materia prima del componente B.

AÑO	NUMERO DE PARTE	MP1_B	MP2_B	MP3_B	MP4_B	MP5_B	MP6_B	MP7_B	MP8_B	MP9_B	MP10_B	MP11_B	MP12_B
2016	ENERO	21089.52	17055.6	800	1843016	3511.61	19192	40450	41282	153520	7000	6031.30	16850
	FEBRERO	19589.28	15945.52	557	1817315	3415.06	18373	37962	38032	148067	7200	5471.90	16475
	MARZO	16498.24	13260.72	487	1451168	2809.18	15035	30664	31680	120249	5600	4492.00	16375
	ABRIL	21514.24	17504.48	568	1987273	3749.16	20602	42108	42074	161377	9600	6151.20	15060
	MAYO	20067.08	16846	330	1851136	3610.56	19884	41959	41700	153133	9600	6023.40	18325
	JUNIO	20331.28	16473.2	240	1919720	3709.90	19573	43419	42836	157256	8780	5826.90	12400
	JULIO	20459.12	16810.08	513	2129305	3678.03	19885	40272	41610	157232	7220	6011.20	13900
	AGOSTO	18176.4	14906.8	400	2224182	3825.12	21006	43092	43730	166448	6750	6148.30	19300
	SEPTIEMBRE	21363.44	17302.24	120	2095521	3605.83	20425	40478	40178	153970	8800	5941.10	13500
	OCTUBRE	22055.36	17976.8	400	2037485	3771.17	19777	42825	42418	159422	10200	6470.50	8900
	NOVIEMBRE	20013.36	16400.88	490	1936141	3413.03	18084	37497	38020	143456	11250	5795.40	8600
	DICIEMBRE	16900	13878.56	180	1576838	2912.70	15473	32229	31642	124726	10800	5026.40	10500
2017	ENERO	17012.55	14042.04	635	1712200	2842.25	15411	32057	31798	124921	10200	5102.90	18600
	FEBRERO	20439.37	16709	438	1954586	3427.38	18492	38504	38182	146743	9800	6230.40	11525
	MARZO	16126.93	12962.28	476	1418508	2745.96	14697	29974	30967	117543	5474	4390.90	13392
	ABRIL	21732.71	17682.23	574	2007453	3787.23	20811	42536	42501	163016	9697	6213.66	16475
	MAYO	18507.19	15536.50	304	1707241	3329.90	18338	38697	38459	141229	8854	5555.18	16006
	JUNIO	18287.51	14817.26	216	1726743	3336.97	17605	39054	38530	141448	7897	5241.16	15203
	JULIO	34292.55	28176.21	860	3569034	6164.93	32995	67502	69745	263544	12102	10075.67	16901
	AGOSTO	18353.08	15051.70	393	2245802	3963.27	21210	43511	44155	168066	6816	6208.06	11154
	SEPTIEMBRE	15648.63	12721.59	140	1534960	2841.25	14961	29650	29430	112782	6446	4351.83	23298
	OCTUBRE	20261.74	16514.86	367	1871790	3464.48	18169	39342	38968	146457	9370	5944.30	19488
	NOVIEMBRE	22783.70	18671.16	558	2204150	3885.48	20687	42687	42883	163314	12807	6597.62	9889
	DICIEMBRE	17420.44	14305.96	450	1625398	3002.40	15950	33222	32616	128567	11133	5181.19	8176
2018	ENERO	28496.71	23046.00	1081	2490331	4745	25933	54657	55781	207440	9460	8149.65	22768
	FEBRERO	28144.38	22995.31	800	2610979	4906.50	26400	54541	54641	212731	10344	7861.61	23670
	MARZO	21362.15	17170.16	631	1878992	3637.37	19470	39704	41020	155700	7251	5816.30	21203
	ABRIL	35639.01	28996.72	941	3291980	6210.60	34130	69753	69700	267326	15903	10188.66	24931
	MAYO	28450.12	23983.43	468	2624450	5119.00	28200	59487	59120	217110	13610	8539.68	25980
	JUNIO	27207.51	22045.00	321	2568987	4864.62	26200	58104	57324	210441	11750	7797.61	16600
	JULIO	50267.62	41302	1104	5231657	9036.84	48366	98947	102235	386316	17740	14769.39	34152
	AGOSTO	22871.28	18757.15	365	2798678	4938.96	26432	54222	55025	209441	8493	7736.38	24285
	SEPTIEMBRE	25810.82	20983	145	2531760	4356.48	24677	48905	48542	186023	10632	7177.9	16310
	OCTUBRE	29579.56	24109.6	537	2732575	5057.7	26524	57435	56889	213809	13680	8677.92	11936
	NOVIEMBRE	30603.3	25079.3	750	2960637	5219.01	27653	57339	58138	219365	17203	8862	13151
	DICIEMBRE	19827.23	16282.45	212	1849961	3417.2	18153	37811	37123	146330	12671	5897.02	12319

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

En la tabla A.2 se encuentran los datos mensuales de demanda para las 7 materias primas del componente C usadas en su manufactura.

*Tabla A.2. Historial mensual de demanda de materia prima del componente C.*

AÑO	NÚMERO DE PARTE	MP1_C	MP2_C	MP3_C	MP4_C	MP5_C	MP6_C	MP7_C
2016	ENERO	70593	348	90	52629	4118.80	4206.00	613517.54
	FEBRERO	86851	340	122	58412	4611.00	4547.20	1119677.04
	MARZO	81173	554	126	53337	4204.80	4186.20	881492.34
	ABRIL	103847	351	110	49177	4387.60	4405.20	678887.00
	MAYO	68940	454	130	47331	5077.60	5311.00	1009216.00
	JUNIO	78293	493	146	54971	4418.00	4289.90	1028310.00
	JULIO	91721	588	155	62821	5074.60	5062.80	1451164.00
	AGOSTO	76020	521	136	51732	4173.00	4324.20	1227108.00
	SEPTIEMBRE	88546	321	162	61095	4921.40	5209.60	1457616.00
	OCTUBRE	91025	867	196	64885	5293.80	5184.40	1886765.00
	NOVIEMBRE	79632	216	169	55923	3852.80	4398.60	1475270.00
	DICIEMBRE	78527	141	146	57686	4648.00	4734.40	1579235.00
2017	ENERO	78363.00	420	176	55348	4367.20	4544.40	1619922.87
	FEBRERO	79849.00	360	149	61004	4963.20	4669.80	1672702.50
	MARZO	77113.86	600	120	50670	3994.53	3976.86	837412.44
	ABRIL	99253.50	335	105	47002	4193.52	4210.34	648857.58
	MAYO	99198.73	653	187	68105	7306.23	7642.07	1452175.06
	JUNIO	90224.71	568	168	63348	5091.29	4943.67	1185022.50
	JULIO	25285.66	369	43	17319	1398.97	1395.71	400057.16
	AGOSTO	83465.16	572	149	56798	4581.69	4747.70	1347287.10
	SEPTIEMBRE	82256.69	298	151	56755	4571.84	4839.57	1354083.37
	OCTUBRE	88235.51	840	190	62897	5131.57	5025.52	1828944.39
	NOVIEMBRE	93780.11	254	199	65859	4537.32	5180.09	1737379.31
	DICIEMBRE	63873.65	200	119	46922	3780.67	3850.95	1284545.50
2018	ENERO	110270.60	543	141	82210	6433.82	6570.03	958352.24
	FEBRERO	119800.60	469	168	80572	6360.33	6272.32	1544461.56
	MARZO	108556.00	740	169	71330	5623.25	5598.38	1178855.61
	ABRIL	164333.40	556	174	77820	6943.19	6971.04	1074309.43
	MAYO	122374.50	806	231	84017	9013.18	9427.48	1791445.70
	JUNIO	117666.10	741	219	82616	6639.79	6447.27	1545441.55
	JULIO	116394.27	746	197	79720	6439.7	6424.71	1841532.2
	AGOSTO	125450.14	860	224	85370	6886.39	7135.91	2025004.95
	SEPTIEMBRE	110614.5	401	202	76322	6147.97	6508	1820900.59
	OCTUBRE	105312.3	1003	227	75069	6124.71	5998.14	2182911.89
	NOVIEMBRE	111104.4	301	236	78025	5375.52	6137.03	2058330.64
	DICIEMBRE	73731.15	133	137	54163	4364.13	4445.26	1482786.89

*(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)*

Las demandas mensuales para el caso de la materia prima utilizada en ambos componentes se tienen en la tabla A.3.

*Tabla A.3. Historial mensual de demanda de materia prima para ambos componentes.*

AÑO	NÚMERO DE PARTE	MP1_A	MP2_A	MP3_A	MP4_A	MP5_A	MP6_A
2016	ENERO	800.60	615.00	1661.50	1931	966	12133
	FEBRERO	911.60	312.50	1674.50	2263	1104	11035
	MARZO	843.80	377.00	1542.00	1748	1349	8060
	ABRIL	1237.70	533.50	1790.00	1902	1216	6560
	MAYO	1194.10	546.50	1666.00	2096	2067	9065
	JUNIO	843.80	1001.50	1761.00	2112	1219	12135
	JULIO	1250.60	572.00	1865.00	2223	1786	15414
	AGOSTO	1297.90	325.00	1808.00	2431	608	14057
	SEPTIEMBRE	1290.70	377.00	1892.00	2136	1209	14780
	OCTUBRE	949.20	640.00	1925.50	2888	851	13866
	NOVIEMBRE	875.70	794.54	1825.00	2739	276	10996
	DICIEMBRE	750.40	325.00	1550.00	2033	830	10830
2017	ENERO	400.00	330.00	1797.50	1976	1160	10993
	FEBRERO	643.00	290.00	1921.50	2466	1115	12395
	MARZO	813.00	362.00	1500.00	1690	1283	7859
	ABRIL	1214.00	520.00	1784.00	1878	1164	5920
	MAYO	1409.00	676.60	1721.00	2340	2941	8752
	JUNIO	871.30	300.00	1688.00	2114	1596	11198
	JULIO	817.40	310.00	2013.20	1794	1490	21554
	AGOSTO	1368.00	346.00	1860.40	2536	1100	14299
	SEPTIEMBRE	1090.00	326.60	1486.00	1753	1118	11146
	OCTUBRE	900.00	610.00	1800.00	2718	924	12815
	NOVIEMBRE	1016.50	850.00	2090.00	3166	1850	12565
	DICIEMBRE	673.00	284.20	1600.00	1877	550	10860
2018	ENERO	1171.52	914.20	2328.25	2775	1503	16635
	FEBRERO	1279.34	436.68	2379.32	3192	1525	15783
	MARZO	1111.05	498.20	2011.41	2293	1802	10467
	ABRIL	2000.48	858.00	2932.56	3092	1930	10819
	MAYO	1906.00	894.20	2489.87	3253	3646	13123
	JUNIO	1202.30	1445.22	2424.32	2966	1826	16423
	JULIO	1987.96	854.85	3638.30	3823	2292	34240
	AGOSTO	1889.94	487.49	2429.90	3422	995	18158
	SEPTIEMBRE	1589.86	466.02	2306.89	2620	1510	17924
	OCTUBRE	1173.15	778.45	2487.44	3636	1188	18319
	NOVIEMBRE	1272.18	1142.94	2725.43	4025	956	16655
	DICIEMBRE	771.7	326.58	1816.9	2150	720	12379

*(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)*

## Anexo B

Las demandas mensuales del año 2018 que ya cumplen con el STD PACK requerido por el proveedor se encuentran en las tablas B.1, B.2 y B.3. Estas demandas se obtuvieron aplicando la regla de redondeo sugerida a la empresa de la sección 3.2.1.

**Tabla B.1. Demandas mensuales con STD PACK del componente B.**

DEMANDA MENSUAL 2018 DE MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B												
NÚMERO DE PARTE	MP1_B	MP2_B	MP3_B	MP4_B	MP5_B	MP6_B	MP7_B	MP8_B	MP9_B	MP10_B	MP11_B	MP12_B
STD PACK	1300	1300	1198	1500	182	400	392	1000	432	1000	300	1000
ENERO	28600	23400	1198	2491500	4914	26000	54880	56000	207792	10000	8400	23000
FEBRERO	28600	23400	1198	2611500	4914	26400	54488	55000	212544	10000	7600	24000
MARZO	22100	16900	1198	1878000	3640	19600	39592	41000	155952	8000	5700	21000
ABRIL	35100	28600	0	3292500	6188	34000	69776	70000	266976	15000	10200	25000
MAYO	28600	24700	1198	2623500	5096	28400	59584	59000	217296	14000	8700	26000
JUNIO	27300	22100	0	2569500	4914	26000	58016	57000	210384	12000	7800	17000
JULIO	49400	41600	1198	5232000	9100	48400	99176	102000	386208	18000	14700	34000
AGOSTO	23400	18200	0	2799000	4914	26400	54096	55000	208520	8000	7800	24000
SEPTIEMBRE	26000	20800	0	2530500	4368	24800	49000	49000	186192	11000	7200	16000
OCTUBRE	29900	24700	1198	2733000	5096	26400	57232	57000	213840	13000	8700	12000
NOVIEMBRE	29900	24700	0	2961000	5096	27600	57624	58000	219024	18000	8700	13000
DICIEMBRE	19500	15600	1198	1849500	3458	18400	37632	37000	146448	12000	6000	13000
TOTAL	348400	284700	8386	33571500	61698	332400	691096	696000	2632176	149000	101700	248000

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla B.2.** Demandas mensuales con STD PACK del componente C.

DEMANDA MENSUAL 2018 DE MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE C							
NÚMERO DE PARTE	MP1_C	MP2_C	MP3_C	MP4_C	MP5_C	MP6_C	MP7_C
<b>STD PACK</b>	<b>1450</b>	<b>1198</b>	<b>18</b>	<b>392</b>	<b>1360</b>	<b>1306</b>	<b>1400</b>
ENERO	111650	1198	144	82320	6800	7836	959000
FEBRERO	118900	0	180	80752	6800	5224	1544200
MARZO	108750	1198	162	71344	5440	6530	1178800
ABRIL	163850	0	180	77616	6800	6530	1075200
MAYO	123250	1198	234	84280	9520	9142	1790600
JUNIO	117450	1198	216	82320	6800	6530	1545600
JULIO	116000	0	198	79968	5440	6530	1841000
AGOSTO	126150	1198	216	85064	6800	6530	2025800
SEPTIEMBRE	110200	0	198	76440	6800	6530	1821400
OCTUBRE	105850	1198	234	75264	5440	6530	2182600
NOVIEMBRE	110200	0	234	78008	5440	6530	2058000
DICIEMBRE	73950	1198	144	54096	5440	3918	1482600
<b>TOTAL</b>	<b>1386200</b>	<b>8386</b>	<b>2340</b>	<b>927472</b>	<b>77520</b>	<b>78360</b>	<b>19504800</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla B.3.** Demandas mensuales con STD PACK de ambos componentes.

DEMANDA MENSUAL 2018 DE MATERIA PRIMA PARA AMBOS COMPONENTES						
NÚMERO DE PARTE	MP1_A	MP2_A	MP3_A	MP4_A	MP5_A	MP6_A
<b>STD PACK</b>	<b>1000</b>	<b>800</b>	<b>35</b>	<b>576</b>	<b>1250</b>	<b>1000</b>
ENERO	2000	1600	2345	2880	2500	17000
FEBRERO	1000	0	2380	3456	1250	16000
MARZO	1000	800	1995	2304	1250	10000
ABRIL	2000	800	2940	2880	2500	11000
MAYO	2000	800	2485	3456	3750	13000
JUNIO	1000	1600	2450	2880	1250	17000
JULIO	2000	800	3640	4032	2500	34000
AGOSTO	2000	0	2415	3456	1250	18000
SEPTIEMBRE	2000	800	2310	2304	1250	18000
OCTUBRE	1000	800	2485	3456	1250	18000
NOVIEMBRE	1000	800	2730	4032	1250	17000
DICIEMBRE	1000	800	1820	2304	0	12000
<b>TOTAL</b>	<b>18000</b>	<b>9600</b>	<b>29995</b>	<b>37440</b>	<b>20000</b>	<b>201000</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Utilizando la regla de redondeo aplicada por la empresa se obtuvieron nuevamente demandas mensuales del año 2018, los datos cumplen con el STD PACK requerido por el proveedor. Los resultados se tienen en las tablas B.4, B.5 y B.6.

**Tabla B.4.** Demandas mensuales con STD PACK del componente B y regla de redondeo aplicada por la empresa.

DEMANDA MENSUAL 2018 DE MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE B (Aplicando regla de redondeo de la empresa)												
NÚMERO DE PARTE	MP1_B	MP2_B	MP3_B	MP4_B	MP5_B	MP6_B	MP7_B	MP8_B	MP9_B	MP10_B	MP11_B	MP12_B
STD PACK	1300	1300	1198	1500	182	400	392	1000	432	1000	300	1000
ENERO	28600	23400	1198	2491500	4914	26000	54880	56000	207792	10000	8400	23000
FEBRERO	28600	23400	1198	2611500	4914	26400	54488	55000	212976	11000	7800	24000
MARZO	22100	16900	1198	1879500	3640	19600	39984	41000	155952	7000	6000	21000
ABRIL	36400	28600	1198	3292500	6188	34400	69776	70000	267408	16000	10200	25000
MAYO	28600	24700	1198	2625000	5096	28400	59584	59000	217296	14000	8700	26000
JUNIO	27300	22100	0	2569500	5096	26400	58016	58000	210384	12000	7800	17000
JULIO	50700	41600	1198	5232000	9100	48400	99176	102000	386208	18000	14700	34000
AGOSTO	23400	19500	1198	2799000	4914	26400	54488	55000	209520	9000	7800	25000
SEPTIEMBRE	26000	20800	0	2532000	4368	24800	49000	49000	186192	11000	7200	17000
OCTUBRE	29900	24700	1198	2733000	5096	26800	57624	57000	213840	14000	8700	12000
NOVIEMBRE	29900	26000	1198	2961000	5278	27600	57232	58000	219456	17000	9000	13000
DICIEMBRE	19500	16900	0	1851000	3458	18400	38024	37000	146448	13000	6000	13000
TOTAL	351000	288600	10782	33577500	62062	333600	692272	697000	2633472	152000	102300	250000

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla B.5.** Demandas mensuales con STD PACK del componente C y regla de redondeo aplicada por la empresa.

DEMANDA MENSUAL 2018 DE MATERIA PRIMA DEL COMPONENTE C (Aplicando regla de redondeo de la empresa)							
NÚMERO DE PARTE	MP1_C	MP2_C	MP3_C	MP4_C	MP5_C	MP6_C	MP7_C
<b>STD PACK</b>	<b>1450</b>	<b>1198</b>	<b>18</b>	<b>392</b>	<b>1360</b>	<b>1306</b>	<b>1400</b>
<b>ENERO</b>	110200	1198	144	82320	6800	7836	959000
<b>FEBRERO</b>	120350	1198	180	80752	6800	6530	1544200
<b>MARZO</b>	108750	1198	180	71344	5440	6530	1178800
<b>ABRIL</b>	165300	1198	180	78008	6800	7836	1075200
<b>MAYO</b>	123250	1198	234	84672	9520	9142	1792000
<b>JUNIO</b>	117450	1198	216	82712	6800	6530	1545600
<b>JULIO</b>	117450	1198	198	79968	6800	6530	1842400
<b>AGOSTO</b>	126150	1198	234	85456	6800	7836	2025800
<b>SEPTIEMBRE</b>	111650	0	198	76440	6800	6530	1821400
<b>OCTUBRE</b>	105850	1198	234	74872	6800	6530	2182600
<b>NOVIEMBRE</b>	111650	0	234	78008	5440	6530	2058000
<b>DICIEMBRE</b>	73950	0	144	54096	4080	5224	1482600
<b>TOTAL</b>	<b>1392000</b>	<b>10782</b>	<b>2376</b>	<b>928648</b>	<b>78880</b>	<b>83584</b>	<b>19507600</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Tabla B.6.** Demandas mensuales con STD PACK de ambos componentes y regla de redondeo aplicada por la empresa.

DEMANDA MENSUAL 2018 DE MATERIA PRIMA PARA AMBOS COMPONENTES (Aplicando regla de redondeo de la empresa)						
NÚMERO DE PARTE	MP1_A	MP2_A	MP3_A	MP4_A	MP5_A	MP6_A
<b>STD PACK</b>	<b>1000</b>	<b>800</b>	<b>35</b>	<b>576</b>	<b>1250</b>	<b>1000</b>
<b>ENERO</b>	2000	1600	2345	2880	2500	17000
<b>FEBRERO</b>	2000	0	2380	3456	1250	16000
<b>MARZO</b>	1000	800	2030	2304	2500	11000
<b>ABRIL</b>	2000	800	2940	3456	2500	11000
<b>MAYO</b>	2000	800	2485	3456	3750	13000
<b>JUNIO</b>	1000	1600	2450	2880	2500	17000
<b>JULIO</b>	2000	800	3640	4032	2500	34000
<b>AGOSTO</b>	2000	800	2450	3456	1250	18000
<b>SEPTIEMBRE</b>	2000	800	2310	2880	1250	18000
<b>OCTUBRE</b>	1000	800	2485	4032	1250	19000
<b>NOVIEMBRE</b>	2000	1600	2730	4032	1250	17000
<b>DICIEMBRE</b>	1000	800	1820	2304	1250	13000
<b>TOTAL</b>	<b>20000</b>	<b>11200</b>	<b>30065</b>	<b>39168</b>	<b>23750</b>	<b>204000</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Anexo C**

En este anexo se encuentran todas las opciones elaboradas al aplicar el algoritmo de Wagner-Whitin a cada de una de las 25 materias primas requeridas en el producción de los componentes B y C de la empresa de estudio. También se encuentra tablas con la política resultante al aplicar el algoritmo y aquellas en donde se utiliza la demanda real de la empresa (es decir demandas que no cumplen con el STD PACK (estándar pack). En una cuarta tabla se coloca los resultados de la política aplicada por la empresa.

## Materia prima del componente B

*Cuadro C.1. Cálculos de MP1\_B.*

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP1_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	29900	19500
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	2475.4	6276.6	15332.4	25170.8	36909.8	62400.2	76487	94375	117517.6	143231.6	161678.6
2		31.60	1932.20	7969.40	15348.20	24739.40	45981.40	58055.80	73707.80	94279.00	117421.60	134191.60
3			47.40	3066.00	7985.20	15028.60	32022.20	42084.20	55500.20	73500.00	94071.20	109164.20
4				63.20	2522.80	7218.40	19963.60	28013.20	39193.20	54621.60	72621.40	86037.40
5					79.00	2426.80	10923.60	16960.80	25904.80	38761.80	54190.20	65929.20
6						94.80	4343.20	8368.00	15076.00	25361.60	38218.60	48280.60
7							110.60	2123.00	6595.00	14309.20	24594.80	32979.80
8								126.40	2362.40	7505.20	15219.40	21927.40
9									142.20	2713.60	7856.40	12887.40
10										158.00	2729.40	6083.40
11											173.80	1850.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19500	
Dt	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	29900	19500	348400
Qt	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	49400	0	348400
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19500	0	19500
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,677.00  
**COSTO TOTAL = \$ 1,850.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	103.29	558.91	1296.76	757.75	907.63	1000.12	132.5	661.22	850.4	1170.84	19967.54	
Dt	28496.71	28144.38	21362.15	35639.01	28450.12	27207.51	50267.62	22871.28	25810.82	29579.56	30603.3	19827.23	348259.69
Qt	28600	28600	22100	35100	28600	27300	49400	23400	26000	29900	49400	0	348400
It	103.29	558.91	1296.76	757.75	907.63	1000.12	132.5	661.22	850.4	1170.84	19967.54	140.31	27547.27
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 2,369.07  
**COSTO TOTAL = \$ 2,542.87**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	103.29	558.91	1296.76	2057.75	2207.63	2300.12	2732.5	3261.22	3450.4	3770.84	22567.54	
Dt	28496.71	28144.38	21362.15	35639.01	28450.12	27207.51	50267.62	22871.28	25810.82	29579.56	30603.3	19827.23	348259.69
Qt	28600	28600	22100	36400	28600	27300	50700	23400	26000	29900	49400	0	351000
It	103.29	558.91	1296.76	2057.75	2207.63	2300.12	2732.5	3261.22	3450.4	3770.84	22567.54	2740.31	47047.27
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 4,046.07  
**COSTO TOTAL = \$ 4,219.87**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro 0.2. Cálculos de MP2\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP2_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	24700	15600
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	2028.2	4935	12313.8	20810.6	30313.6	51779.2	62735.6	77046	96163.8	117405.8	132163.4
2		31.60	1485.00	6404.20	12776.80	20379.20	38267.20	47658.40	60180.00	77173.60	96291.40	109707.40
3			47.40	2507.00	6755.40	12457.20	26767.60	34593.60	45326.40	60195.80	77189.40	89263.80
4				63.20	2187.40	5988.60	16721.40	22982.20	31926.20	44671.40	59540.80	70273.60
5					79.00	1979.60	9134.80	13830.40	20985.60	31606.60	44351.80	53743.00
6						94.80	3672.40	6802.80	12169.20	20666.00	31287.00	39336.60
7							110.60	1675.80	5253.40	11626.00	20122.80	26830.80
8								126.40	1915.20	6163.60	12536.20	17902.60
9									142.20	2266.40	6514.80	10539.60
10										158.00	2282.20	4965.40
11											173.80	1515.40
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15600
D <sub>t</sub>	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	24700	15600	284700
Q <sub>t</sub>	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	40300	0	284700
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15600	0	15600
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 1,341.60  
**COSTO TOTAL = \$ 1,515.40**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	354	758.69	488.53	91.81	908.38	963.38	1261.38	704.23	521.23	1111.63	16332.33	
D <sub>t</sub>	23046	22995.31	17170.16	28996.72	23883.43	22045	41302	18757.15	20983	24109.6	25079.3	16282.45	284650.12
Q <sub>t</sub>	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	18200	20800	24700	40300	0	284700
I <sub>t</sub>	354	758.69	488.53	91.81	908.38	963.38	1261.38	704.23	521.23	1111.63	16332.33	49.88	23545.47
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 2,024.91  
**COSTO TOTAL = \$ 2,198.71**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	354	758.69	488.53	91.81	908.38	963.38	1261.38	2004.23	1821.23	2411.63	20232.33	
D <sub>t</sub>	23046	22995.31	17170.16	28996.72	23883.43	22045	41302	18757.15	20983	24109.6	25079.3	16282.45	284650.12
Q <sub>t</sub>	23400	23400	16900	28600	24700	22100	41600	19500	20800	24700	42900	0	288600
I <sub>t</sub>	354	758.69	488.53	91.81	908.38	963.38	1261.38	2004.23	1821.23	2411.63	20232.33	3949.88	35245.47
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 3,031.11  
**COSTO TOTAL = \$ 3,204.91**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.3. Cálculos de MP3\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP3_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	1198	1198	1198	0	1198	0	1198	0	0	1198	0	1198
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	47.40	63.20	63.20	79.00	79.00	79.00	94.80	94.80	110.60
1	15.8	118.828	324.884	324.884	736.996	736.996	1355.164	1355.164	1355.164	2282.416	2282.416	3415.724
2		31.60	134.63	134.63	443.71	443.71	958.85	958.85	958.85	1783.08	1783.08	2813.36
3			47.40	47.40	253.46	253.46	665.57	665.57	665.57	1386.76	1386.76	2314.02
4				63.20	166.23	166.23	475.31	475.31	475.31	1093.48	1093.48	1917.70
5					63.20	63.20	269.26	269.26	269.26	784.40	784.40	1505.59
6						79.00	182.03	182.03	182.03	594.14	594.14	1212.31
7							79.00	79.00	79.00	388.08	388.08	903.22
8								94.80	94.80	300.86	300.86	712.97
9									94.80	197.83	197.83	506.91
10										94.80	94.80	300.86
11											110.60	213.63
12												110.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR		ORDENAR		ORDENAR			ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1198	
Dt	1198	1198	1198	0	1198	0	1198	0	0	1198	0	1198	8386
Qt	1198	1198	1198	0	1198	0	1198	0	0	1198	1198	0	8386
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1198	0	1198
PEDIDO	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	7

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 110.60  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 103.03  
**COSTO TOTAL = \$ 213.63**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	117	515	1082	141	871	550	644	279	134	795	1243	
Dt	1081	800	631	941	468	321	1104	365	145	537	750	212	7355
Qt	1198	1198	1198	0	1198	0	1198	0	0	1198	1198	0	8386
It	117	515	1082	141	871	550	644	279	134	795	1243	1031	7402
PEDIDO	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	7

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 110.60  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 636.57  
**COSTO TOTAL = \$ 747.17**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	1315	515	2280	1339	2069	1748	3040	2675	3728	3191	3639	
Dt	1081	800	631	941	468	321	1104	365	145	537	750	212	7355
Qt	2396	0	2396	0	1198	0	2396	0	1198	0	1198	0	10782
It	1315	515	2280	1339	2069	1748	3040	2675	3728	3191	3639	3427	28966
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 2,491.08  
**COSTO TOTAL = \$ 2,585.88**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.4. Cálculos de MP4\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP4_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	2961000	1849500
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)= 15.8	F(2)= 31.60	F(3)= 47.40	F(4)= 63.20	F(5)= 79.00	F(6)= 94.80	F(7)= 110.60	F(8)= 126.40	F(9)= 142.20	F(10)= 158.00	F(11)= 173.80	F(12)= 189.60
1	15.8	224604.8	547620.8	1397085.8	2299569.8	3404454.8	6104166.8	7789164.8	9530148.8	11645490.8	14191950.8	15941577.8
2		31.60	161539.60	727849.60	1404712.60	2288620.60	4538380.60	5982664.60	7506025.60	9386329.60	11678143.60	13268713.60
3			47.40	283202.40	734444.40	1397375.40	3197183.40	4400753.40	5706491.40	7351757.40	9388925.40	10820438.40
4				63.20	225684.20	667638.20	2017494.20	2980350.20	4068465.20	5478693.20	7261215.20	8533671.20
5					79.00	221056.00	1120960.00	1843102.00	2713594.00	3888784.00	5416660.00	6530059.00
6						94.80	450046.80	931474.80	1584343.80	2524495.80	3797725.80	4752067.80
7							110.60	240824.60	676070.60	1381184.60	2399768.60	3195053.60
8								126.40	217749.40	687825.40	1451763.40	2087991.40
9									142.20	235180.20	744472.20	1221643.20
10										158.00	254804.00	572918.00
11											173.80	159230.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1849500	
Dt	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	2961000	1849500	33571500
Qt	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	4810500	0	33571500
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1849500	0	1849500
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 159,057.00  
**COSTO TOTAL = \$ 159,230.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	1169	1690	698	1218	268	781	1124	1446	186	611	1850474	
Dt	2490331	2610979	1878992	3291980	2624450	2568987	5231657	2798678	2531760	2732575	2960637	1849961	33570987
Qt	2491500	2611500	1878000	3292500	2623500	2569500	5232000	2799000	2530500	2733000	4810500	0	33571500
It	1169	1690	698	1218	268	781	1124	1446	186	611	1850474	513	1860178
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 159,975.31  
**COSTO TOTAL = \$ 160,149.11**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	1169	1690	2198	2718	3268	3781	4124	4446	4686	5111	1856474	
Dt	2490331	2610979	1878992	3291980	2624450	2568987	5231657	2798678	2531760	2732575	2960637	1849961	33570987
Qt	2491500	2611500	1879500	3292500	2625000	2569500	5232000	2799000	2532000	2733000	4812000	0	33577500
It	1169	1690	2198	2718	3268	3781	4124	4446	4686	5111	1856474	6513	1896178
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 163,071.31  
**COSTO TOTAL = \$ 163,245.11**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.5. Cálculos de MP5\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP5_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	5096	3458
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	438.404	1064.484	2660.988	4414.012	6527.032	11222.632	14180.86	17186.044	21130.348	25512.908	28784.176
2		31.60	344.64	1408.98	2723.74	4414.16	8327.16	10862.78	13492.32	16998.37	20942.67	23916.55
3			47.40	579.57	1456.08	2723.89	5854.29	7967.31	10221.20	13288.99	16795.04	19471.53
4				63.20	501.46	1346.66	3694.46	5384.88	7263.12	9892.66	12960.45	15339.55
5					79.00	501.60	2066.80	3334.62	4837.21	7028.49	9658.02	11739.74
6						94.80	877.40	1722.61	2849.55	4602.58	6793.86	8578.18
7							110.60	533.20	1284.50	2599.27	4352.29	5839.23
8								126.40	502.05	1378.56	2693.33	3882.88
9									142.20	580.46	1456.97	2349.13
10										158.00	596.26	1191.03
11											173.80	471.19
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3458
D <sub>t</sub>	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	5096	3458	61698
Q <sub>t</sub>	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	8554	0	61698
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3458	0	3458
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 297.39  
**COSTO TOTAL = \$ 471.19**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	169	176.5	179.13	156.53	133.53	82.91	146.07	121.11	132.63	170.93	3505.92	
D <sub>t</sub>	4745	4906.5	3637.37	6210.6	5119	4964.62	9036.84	4938.96	4356.48	5057.7	5219.01	3417.2	61609.28
Q <sub>t</sub>	4914	4914	3640	6188	5096	4914	9100	4914	4368	5096	8554	0	61698
I <sub>t</sub>	169	176.5	179.13	156.53	133.53	82.91	146.07	121.11	132.63	170.93	3505.92	88.72	5062.98
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 435.42  
**COSTO TOTAL = \$ 609.22**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	5083	176.5	6367.13	156.53	5229.53	264.91	5242.07	303.11	5410.63	352.93	3869.92	
D <sub>t</sub>	4745	4906.5	3637.37	6210.6	5119	4964.62	9036.84	4938.96	4356.48	5057.7	5219.01	3417.2	61609.28
Q <sub>t</sub>	9828	0	9828	0	10192	0	14014	0	9464	0	8736	0	62062
I <sub>t</sub>	5083	176.5	6367.13	156.53	5229.53	264.91	5242.07	303.11	5410.63	352.93	3869.92	452.72	32908.98
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 2,830.17  
**COSTO TOTAL = \$ 2,924.97**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.6. Cálculos de MP6\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP6_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	27600	18400
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8											
2		2286.2										
3			5657.4									
4				14429.4								
5					24199							
6						35379						
7							60353.4					
8								76246.2				
9									93308.6			
10										113742.2		
11											137478.2	
12												154884.6
		31.60	1717.20	7565.20	14892.40	23836.40	44648.40	58270.80	73200.40	91363.60	112726.00	128550.00
			47.40	2971.40	7856.20	14564.20	31213.80	42565.80	55362.60	71255.40	90244.20	104485.80
				63.20	2505.60	6977.60	19464.80	28546.40	39210.40	52832.80	69448.00	82107.20
					79.00	2315.00	10639.80	17451.00	25982.20	37334.20	51575.80	62652.60
						94.80	4257.20	8798.00	15196.40	24278.00	36146.00	45640.40
							110.60	2381.00	6646.60	13457.80	22952.20	30864.20
								126.40	6800.00	13920.80	20250.40	
									142.20	2412.60	7159.80	11907.00
										158.00	2531.60	5696.40
											173.80	1756.20
												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18400	
Dt	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	27600	18400	332400
Qt	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	46000	0	332400
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18400	0	18400
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,582.40  
**COSTO TOTAL = \$ 1,756.20**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	67	67	197	67	267	67	101	69	192	68	18415	
Dt	25933	26400	19470	34130	28200	26200	48366	26432	24677	26524	27653	18153	332138
Qt	26000	26400	19600	34000	28400	26000	48400	26400	24800	26400	46000	0	332400
It	67	67	197	67	267	67	101	69	192	68	18415	262	19839
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,706.15  
**COSTO TOTAL = \$ 1,879.95**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	26467	67	34597	467	27067	867	27301	869	27792	1268	19615	
Dt	25933	26400	19470	34130	28200	26200	48366	26432	24677	26524	27653	18153	332138
Qt	52400	0	54000	0	54800	0	74800	0	51600	0	46000	0	333600
It	26467	67	34597	467	27067	867	27301	869	27792	1268	19615	1462	167839
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 14,434.15  
**COSTO TOTAL = \$ 14,528.95**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.7. Cálculos de MP7\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP7_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	57624	37632
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	4701.768	11511.592	29513.8	50010.696	74957.576	126132.392	158698.184	192410.184	236707.752	286264.392	321864.264
2		31.60	3436.51	15437.98	30810.66	50768.16	93413.84	121327.38	150825.38	190200.99	234801.97	267165.49
3			47.40	6048.14	16296.58	31264.71	65381.26	88642.54	113926.54	148380.20	188025.51	217152.68
4				63.20	5187.42	15166.18	40753.58	59362.61	80432.61	109964.32	144653.97	170544.78
5					79.00	5068.38	22126.65	36083.42	52939.42	77549.18	107283.16	129937.62
6						94.80	8623.94	17928.45	30570.45	50258.26	75036.58	94454.69
7							110.60	4762.86	13190.86	27956.71	47779.37	63961.13
8								126.40	4340.40	14184.30	29051.30	41996.70
9									142.20	5064.15	14975.48	24684.54
10										158.00	5113.66	11586.37
11											173.80	3410.15
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37632
Dt	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	57624	37632	691096
Qt	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	95256	0	691096
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37632	0	37632
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 3,236.35  
**COSTO TOTAL = \$ 3,410.15**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	223	170	58	81	178	90	319	193	288	85	38002	
Dt	54657	54541	39704	69753	59487	58104	98947	54222	48905	57435	57339	37811	690905
Qt	54880	54488	39592	69776	59584	58016	99176	54096	49000	57232	95256	0	691096
It	223	170	58	81	178	90	319	193	288	85	38002	191	39878
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 3,429.51  
**COSTO TOTAL = \$ 3,603.31**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	54711	170	70226	473	58586	482	55199	977	58696	1261	39178	
Dt	54657	54541	39704	69753	59487	58104	98947	54222	48905	57435	57339	37811	690905
Qt	109368		109760		117600		153664		106624		95256	0	692272
It	54711	170	70226	473	58586	482	55199	977	58696	1261	39178	1367	341326
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 29,354.04  
**COSTO TOTAL = \$ 29,448.84**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.8. Cálculos de MP8\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP8_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	58000	37000
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	4745.8	11797.8	29857.8	50153.8	74663.8	127295.8	160405.8	194117.8	238235.8	288115.8	323117.8
2		31.60	3557.60	15597.60	30819.60	50427.60	94287.60	122667.60	152165.60	191381.60	236273.60	268093.60
3			47.40	6067.40	16215.40	30921.40	66009.40	89659.40	114943.40	149257.40	189161.40	217799.40
4				63.20	5137.20	14941.20	41257.20	60177.20	81247.20	110659.20	145575.20	171031.20
5					79.00	4981.00	22525.00	36715.00	53571.00	78081.00	108009.00	130283.00
6						94.80	8866.80	18326.80	30968.80	50576.80	75516.80	94608.80
7							110.60	4840.60	13268.60	27974.60	47926.60	63836.60
8								126.40	4340.40	14144.40	29108.40	41836.40
9									142.20	5044.20	15020.20	24566.20
10										158.00	5146.00	11510.00
11											173.80	3355.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37000
D <sub>t</sub>	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	58000	37000	696000
Q <sub>t</sub>	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	95000	0	696000
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37000	0	37000
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 3,182.00  
**COSTO TOTAL = \$ 3,355.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	219	578	558	858	738	414	179	154	612	723	37585	
D <sub>t</sub>	55781	54641	41020	69700	59120	57324	102235	55025	48542	56889	58138	37123	695538
Q <sub>t</sub>	56000	55000	41000	70000	59000	57000	102000	55000	49000	57000	95000	0	696000
I <sub>t</sub>	219	578	558	858	738	414	179	154	612	723	37585	462	43080
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 3,704.88  
**COSTO TOTAL = \$ 3,878.68**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	219	578	558	858	738	1414	1179	1154	1612	1723	38585	
D <sub>t</sub>	55781	54641	41020	69700	59120	57324	102235	55025	48542	56889	58138	37123	695538
Q <sub>t</sub>	56000	55000	41000	70000	59000	58000	102000	55000	49000	57000	95000	0	697000
I <sub>t</sub>	219	578	558	858	738	1414	1179	1154	1612	1723	38585	1462	50080
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 4,306.88  
**COSTO TOTAL = \$ 4,480.68**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.9. Cálculos de MP9\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP9_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	219024	146448
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)= 15.8	F(2)= 31.60	F(3)= 47.40	F(4)= 63.20	F(5)= 79.00	F(6)= 94.80	F(7)= 110.60	F(8)= 126.40	F(9)= 142.20	F(10)= 158.00	F(11)= 173.80	F(12)= 189.60
1	15.8	18294.584	45118.328	113998.136	188747.96	279213.08	478496.408	604627.448	732727.544	898239.704	1086600.34	1225140.15
2		31.60	13443.47	59363.34	115425.71	187797.81	353867.25	461979.57	574067.15	721189.07	890713.65	1016658.93
3			47.40	23007.34	60382.25	114661.32	247516.87	337610.47	433685.54	562417.22	713105.74	826456.49
4				63.20	18750.66	54936.70	154578.37	226653.25	306715.81	417057.25	548909.70	649665.92
5					79.00	18172.02	84599.80	138655.96	202706.01	294657.21	407673.59	495835.29
6						94.80	33308.69	69346.13	117383.66	190944.62	285124.94	360692.11
7							110.60	18129.32	50154.34	105325.06	180669.32	243641.96
8								126.40	16138.91	52919.39	109427.58	159805.70
9									142.20	18532.44	56204.57	93988.15
10										158.00	18994.06	44183.12
11											173.80	12768.33
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146448
D <sub>t</sub>	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	219024	146448	2632176
Q <sub>t</sub>	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365472	0	2632176
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146448	0	146448
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 12,594.53  
**COSTO TOTAL = \$ 12,768.33**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	352	165	417	67	253	196	88	167	336	367	146474	
D <sub>t</sub>	207440	212731	155700	267326	217110	210441	386316	209441	186023	213809	219365	146330	2632032
Q <sub>t</sub>	207792	212544	155952	266976	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365472	0	2632176
I <sub>t</sub>	352	165	417	67	253	196	88	167	336	367	146474	144	149026
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 12,816.24  
**COSTO TOTAL = \$ 12,990.04**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	352	597	849	931	1117	1060	952	1031	1200	1231	147770	
D <sub>t</sub>	207440	212731	155700	267326	217110	210441	386316	209441	186023	213809	219365	146330	2632032
Q <sub>t</sub>	207792	212976	155952	267408	217296	210384	386208	209520	186192	213840	365904	0	2633472
I <sub>t</sub>	352	597	849	931	1117	1060	952	1031	1200	1231	147770	1440	158530
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 13,633.58  
**COSTO TOTAL = \$ 13,807.38**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.10. Cálculos de MP10\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP10_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	18000	12000
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	875.8	2251.8	6121.8	10937.8	16097.8	25385.8	30201.8	37769.8	47831.8	63311.8	74663.8
2		31.60	719.60	3299.60	6911.60	11039.60	18779.60	22907.60	29529.60	38473.60	52405.60	62725.60
3			47.40	1337.40	3745.40	6841.40	13033.40	16473.40	22149.40	29975.40	42359.40	51647.40
4				63.20	1267.20	3331.20	7975.20	10727.20	15457.20	22165.20	33001.20	41257.20
5					79.00	1111.00	4207.00	6271.00	10055.00	15645.00	24933.00	32157.00
6						94.80	1642.80	3018.80	5856.80	10328.80	18068.80	24260.80
7							110.60	798.60	2690.60	6044.60	12236.60	17396.60
8								126.40	1072.40	3308.40	7952.40	12080.40
9									142.20	1260.20	4356.20	7452.20
10										158.00	1706.00	3770.00
11											173.80	1205.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000
D <sub>t</sub>	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	18000	12000	149000
Q <sub>t</sub>	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	30000	0	149000
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000	0	12000
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 1,032.00  
**COSTO TOTAL = \$ 1,205.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	540	196	945	42	432	682	942	449	817	137	12934	
D <sub>t</sub>	9460	10344	7251	15903	13610	11750	17740	8493	10632	13680	17203	12671	148737
Q <sub>t</sub>	10000	10000	8000	15000	14000	12000	18000	8000	11000	13000	30000	0	149000
I <sub>t</sub>	540	196	945	42	432	682	942	449	817	137	12934	263	18379
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 1,580.59  
**COSTO TOTAL = \$ 1,754.39**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	540	1196	945	1042	1432	1682	1942	2449	2817	3137	15934	
D <sub>t</sub>	9460	10344	7251	15903	13610	11750	17740	8493	10632	13680	17203	12671	148737
Q <sub>t</sub>	10000	11000	7000	16000	14000	12000	18000	9000	11000	14000	30000	0	152000
I <sub>t</sub>	540	1196	945	1042	1432	1682	1942	2449	2817	3137	15934	3263	36379
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 3,128.59  
**COSTO TOTAL = \$ 3,302.39**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.11. Cálculos de MP11\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP11_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	8700	6000
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	189.60
1	15.8	686.6	1667	4298.6	7291.4	10645.4	18230.6	22926.2	27879.8	34613.6	42095.6	47771.6
2		31.60	521.80	2276.20	4520.80	7204.00	13525.00	17549.80	21884.20	27869.80	34603.60	39763.60
3			47.40	924.60	2421.00	4433.40	9490.20	12844.20	16559.40	21796.80	27782.40	32426.40
4				63.20	811.40	2153.00	5945.60	8628.80	11724.80	16214.00	21451.40	25579.40
5					79.00	749.80	3278.20	5290.60	7767.40	11508.40	15997.60	19609.60
6						94.80	1359.00	2700.60	4558.20	7551.00	11292.00	14388.00
7							110.60	781.40	2019.80	4264.40	7257.20	9837.20
8								126.40	745.60	2242.00	4486.60	6550.60
9									142.20	890.40	2386.80	3934.80
10										158.00	906.20	1938.20
11											173.80	689.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000	
D <sub>t</sub>	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	8700	6000	101700
Q <sub>t</sub>	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	14700	0	101700
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000	0	6000
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 516.00  
**COSTO TOTAL = \$ 689.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	250.35	188.74	72.44	82.78	243.1	245.49	176.1	239.72	261.82	283.9	6121.9	
D <sub>t</sub>	8149.65	7861.61	5816.3	10189.66	8539.68	7797.61	14769.39	7736.38	7177.9	8677.92	8862	5897.02	101475.12
Q <sub>t</sub>	8400	7800	5700	10200	8700	7800	14700	7800	7200	8700	14700	0	101700
I <sub>t</sub>	250.35	188.74	72.44	82.78	243.1	245.49	176.1	239.72	261.82	283.9	6121.9	224.88	8391.22
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 721.64  
**COSTO TOTAL = \$ 895.44**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	8050.35	188.74	10572.44	382.78	8343.1	545.49	8276.1	539.72	9261.82	583.9	6721.9	
D <sub>t</sub>	8149.65	7861.61	5816.3	10189.66	8539.68	7797.61	14769.39	7736.38	7177.9	8677.92	8862	5897.02	101475.12
Q <sub>t</sub>	16200	0	16200	0	16500	0	22500	0	15900	0	15000	0	102300
I <sub>t</sub>	8050.35	188.74	10572.44	382.78	8343.1	545.49	8276.1	539.72	9261.82	583.9	6721.9	824.88	54291.22
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 4,669.04  
**COSTO TOTAL = \$ 4,763.84**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.12. Cálculos de MP12\_B.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP12_B USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	13000	13000
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)= 15.8	F(2)= 31.60	F(3)= 47.40	F(4)= 63.20	F(5)= 79.00	F(6)= 94.80	F(7)= 110.60	F(8)= 126.40	F(9)= 142.20	F(10)= 158.00	F(11)= 173.80	F(12)= 189.60
1	15.8	2079.8	5691.8	12141.8	21085.8	28395.8	45939.8	60387.8	71395.8	80683.8	91863.8	104161.8
2		31.60	1837.60	6137.60	12845.60	18693.60	33313.60	45697.60	55329.60	63585.60	73647.60	84827.60
3			47.40	2197.40	6669.40	11055.40	22751.40	33071.40	41327.40	48551.40	57495.40	67557.40
4				63.20	2299.20	5223.20	13995.20	22251.20	29131.20	35323.20	43149.20	52093.20
5					79.00	1541.00	7389.00	13581.00	19085.00	24245.00	30953.00	38779.00
6						94.80	3018.80	7146.80	11274.80	15402.80	20992.80	27700.80
7							110.60	2174.60	4926.60	8022.60	12494.60	18084.60
8								126.40	1502.40	3566.40	6920.40	11392.40
9									142.20	1174.20	3410.20	6764.20
10										158.00	1276.00	3512.00
11											173.80	1291.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13000	
Dt	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	13000	13000	248000
Qt	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	26000	0	248000
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13000	0	13000
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,118.00  
**COSTO TOTAL = \$ 1,291.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	232	562	359	428	448	848	696	411	101	165	13014	
Dt	22768	23670	21203	24931	25980	16600	34152	24285	16310	11936	13151	12319	247305
Qt	23000	24000	21000	25000	26000	17000	34000	24000	16000	12000	26000	0	248000
It	232	562	359	428	448	848	696	411	101	165	13014	695	17959
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,544.47  
**COSTO TOTAL = \$ 1,718.27**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	24232	562	25359	428	17448	848	25696	1411	14101	2165	15014	
Dt	22768	23670	21203	24931	25980	16600	34152	24285	16310	11936	13151	12319	247305
Qt	47000	0	46000	0	43000	0	59000	0	29000	0	26000	0	250000
It	24232	562	25359	428	17448	848	25696	1411	14101	2165	15014	2695	129959
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 11,176.47  
**COSTO TOTAL = \$ 11,271.27**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## Materia prima del componente C

**Cuadro C.13. Cálculos de MP1\_C.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP1_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	105850	110200	73950
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	10241.2	28946.2	71219.5	113617.5	164121	223977	299919.3	375736.9	457664.8	552436.8	622393.5
2		31.60	9384.10	37566.30	69364.80	109767.60	159647.60	224741.00	291081.40	363906.20	449201.00	512798.00
3			47.40	14138.50	35337.50	65639.60	105543.60	159788.10	216651.30	280373.00	356190.60	413427.90
4				63.20	10662.70	30864.10	60792.10	104187.70	151573.70	206192.30	272532.70	323410.30
5					79.00	10179.70	30131.70	62678.40	100587.20	146102.70	202965.90	247483.80
6						94.80	10070.80	31768.60	60200.20	96612.60	143998.60	182156.80
7							110.60	10959.50	29913.90	57223.20	95132.00	126930.50
8								126.40	9603.60	27809.80	56241.40	81680.20
9									142.20	9245.30	28199.70	47278.80
10										158.00	9635.20	22354.60
11											173.80	6533.50
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73950
D <sub>t</sub>	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	105850	110200	73950	1386200
Q <sub>t</sub>	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	105850	184150	0	1386200
I <sub>t</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73950	0	73950
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 6,359.70  
**COSTO TOTAL = \$ 6,533.50**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	1379.4	478.8	672.8	189.4	1064.9	848.8	454.53	1154.39	739.89	1277.59	74323.19	
D <sub>t</sub>	110270.6	119800.6	108556	164333.4	122374.5	117666.1	116394.27	125450.14	110614.5	105312.3	111104.4	73731.15	1385607.96
Q <sub>t</sub>	111650	118900	108750	163850	123250	117450	116000	126150	110200	105850	184150	0	1386200
I <sub>t</sub>	1379.4	478.8	672.8	189.4	1064.9	848.8	454.53	1154.39	739.89	1277.59	74323.19	592.04	83175.73
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 7,153.11  
**COSTO TOTAL = \$ 7,326.91**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	-70.6	478.8	672.8	1639.4	2514.9	2298.8	3354.53	4054.39	5089.89	5627.59	80123.19	
D <sub>t</sub>	110270.6	119800.6	108556	164333.4	122374.5	117666.1	116394.27	125450.14	110614.5	105312.3	111104.4	73731.15	1385607.96
Q <sub>t</sub>	110200	120350	108750	165300	123250	117450	117450	126150	111650	105850	185600	0	1392000
I <sub>t</sub>	-70.6	478.8	672.8	1639.4	2514.9	2298.8	3354.53	4054.39	5089.89	5627.59	80123.19	6392.04	112175.73
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 9,647.11  
**COSTO TOTAL = \$ 9,820.91**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.14. Cálculos de MP2\_C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP2_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	1198	0	1198	0	1198	1198	0	1198	0	1198	0	1198
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	15.80	31.60	31.60	47.40	63.20	63.20	79.00	79.00	94.80	94.80	110.60
1	15.8	15.8	221.856	221.856	633.968	1149.108	1149.108	1870.304	1870.304	2797.556	2797.556	3930.864
2		31.60	134.63	134.63	443.71	855.82	855.82	1473.99	1473.99	2298.22	2298.22	3328.50
3			31.60	31.60	237.66	546.74	546.74	1061.88	1061.88	1783.08	1783.08	2710.33
4				47.40	150.43	356.48	356.48	768.60	768.60	1386.76	1386.76	2210.99
5					47.40	150.43	150.43	459.51	459.51	974.65	974.65	1695.85
6						63.20	63.20	269.26	269.26	681.37	681.37	1299.54
7							79.00	182.03	182.03	491.11	491.11	1006.25
8								79.00	79.00	285.06	285.06	697.17
9									94.80	197.83	197.83	506.91
10										94.80	94.80	300.86
11											110.60	213.63
12												110.60
	ORDENAR		ORDENAR		ORDENAR	ORDENAR		ORDENAR		ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1198	
Dt	1198	0	1198	0	1198	1198	0	1198	0	1198	0	1198	8386
Qt	1198	0	1198	0	1198	1198	0	1198	0	1198	1198	0	8386
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1198	0	1198
PEDIDO	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	7

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 110.60  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 103.03  
**COSTO TOTAL = \$ 213.63**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	655	186	644	88	480	937	191	529	128	323	1220	
Dt	543	469	740	556	806	741	746	860	401	1003	301	133	7299
Qt	1198	0	1198	0	1198	1198	0	1198	0	1198	1198	0	8386
It	655	186	644	88	480	937	191	529	128	323	1220	1087	6468
PEDIDO	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	7

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 110.60  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 556.25  
**COSTO TOTAL = \$ 666.85**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	1853	1384	3040	2484	4074	3333	4983	4123	4920	3917	3616	
Dt	543	469	740	556	806	741	746	860	401	1003	301	133	7299
Qt	2396	0	2396	0	2396	0	2396	0	1198	0	0	0	10782
It	1853	1384	3040	2484	4074	3333	4983	4123	4920	3917	3616	3483	41210
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	5

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 79.00  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 3,544.06  
**COSTO TOTAL = \$ 3,623.06**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.15. Cálculos de MP3\_C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP3_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8										
		usd/pedido										
Costo de almacenamiento (h) =		0.086										
		usd/mes										
DEMANDA	144	180	162	180	234	216	198	216	198	234	234	144
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	31.28	59.144	105.584	186.08	278.96	381.128	511.16	647.384	828.5	1029.74	1165.964
2		31.60	45.53	76.49	136.86	211.17	296.31	407.76	526.96	687.95	869.07	992.91
3			47.08	62.56	102.81	158.54	226.65	319.53	421.70	562.56	723.56	835.01
4				61.33	81.46	118.61	169.69	244.00	329.14	449.88	590.75	689.82
5					77.13	95.71	129.76	185.49	253.60	354.22	474.97	561.66
6						92.93	109.96	147.11	198.20	278.69	379.31	453.62
7							108.73	127.31	161.36	221.74	302.23	364.15
8								124.53	141.56	181.81	242.18	291.72
9									140.33	160.46	200.70	237.86
10										156.13	176.26	201.02
11											171.93	184.32
12												187.73
	ORDENAR	ORDENAR		ORDENAR								

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	144	
D <sub>t</sub>	144	180	162	180	234	216	198	216	198	234	234	144	2340
Q <sub>t</sub>	144	342	0	180	234	216	198	216	198	234	378	0	2340
I <sub>t</sub>	0	162	0	0	0	0	0	0	0	0	144	0	306
PEDIDO	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 158.00  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 26.32  
**COSTO TOTAL = \$ 184.32**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
I <sub>t-1</sub>	0	3	177	8	14	17	14	15	7	3	10	152	
D <sub>t</sub>	141	168	169	174	231	219	197	224	202	227	236	137	2325
Q <sub>t</sub>	144	342	0	180	234	216	198	216	198	234	378	0	2340
I <sub>t</sub>	3	177	8	14	17	14	15	7	3	10	152	15	435
PEDIDO	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 158.00  
 Costo total de almacenamiento (I<sub>t</sub> TOTAL X h) = \$ 37.41  
**COSTO TOTAL = \$ 195.41**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.16. Cálculos de MP4\_C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP4_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	78008	54096
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	6960.472	19231.64	39256.568	68248.888	103646.488	144909.976	196118.504	248709.224	306963.56	374050.44	425225.256
2		31.60	6167.18	19517.14	41261.38	69579.46	103965.70	147858.72	193875.60	245657.23	306035.42	352557.98
3			47.40	6722.38	21218.54	42457.10	69966.09	106543.61	145986.65	191295.58	244965.08	286835.38
4				63.20	7311.28	21470.32	42102.06	71364.08	104233.28	143069.50	190030.32	227248.37
5					79.00	7158.52	20913.02	42859.53	69154.89	101518.41	141770.54	174336.33
6						94.80	6972.05	21603.06	41324.58	67215.39	100758.83	128672.37
7							110.60	7426.10	20573.78	39991.90	66826.65	90087.93
8								126.40	6700.24	19645.65	39771.71	58380.74
9									142.20	6614.90	20032.28	33989.05
10										158.00	6866.69	16171.20
11											173.80	4826.06
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54096	
Dt	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	78008	54096	927472
Qt	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	132104	0	927472
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54096	0	54096
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 4,652.26  
**COSTO TOTAL = \$ 4,826.06**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	110	290	304	100	363	67	315	9	127	322	54401	
Dt	82210	80572	71330	77820	84017	82616	79720	85370	76322	75069	78025	54163	927234
Qt	82320	80752	71344	77616	84280	82320	79968	85064	76440	75264	132104	0	927472
It	110	290	304	100	363	67	315	9	127	322	54401	238	56646
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 4,871.56  
**COSTO TOTAL = \$ 5,045.36**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	80862	290	78312	492	83859	1243	86947	1577	76567	1498	55577	
Dt	82210	80572	71330	77820	84017	82616	79720	85370	76322	75069	78025	54163	927234
Qt	163072	0	149352	0	167384	0	165424	0	151312	0	132104	0	928648
It	80862	290	78312	492	83859	1243	86947	1577	76567	1498	55577	1414	468638
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 40,302.87  
**COSTO TOTAL = \$ 40,397.67**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.17. Cálculos de MP5\_C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP5_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	5440	5440
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	189.60
1	15.8	600.6	1536.28	3290.68	6565.56	9489.56	12296.6	16390.2	21068.6	25279.16	29957.56	35103.8
2		31.60	499.44	1669.04	4125.20	6464.40	8803.60	12312.40	16406.00	20148.72	24359.28	29037.68
3			47.40	632.20	2269.64	4024.04	5895.40	8819.40	12328.20	15603.08	19345.80	23556.36
4				63.20	881.92	2051.52	3455.04	5794.24	8718.24	11525.28	14800.16	18542.88
5					79.00	663.80	1599.48	3353.88	5693.08	8032.28	10839.32	14114.20
6						94.80	562.64	1732.24	3486.64	5358.00	7697.20	10504.24
7							110.60	695.40	1865.00	3268.52	5139.88	7479.08
8								126.40	711.20	1646.88	3050.40	4921.76
9									142.20	610.04	1545.72	2949.24
10										158.00	625.84	1561.52
11											173.80	641.64
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5440	
Dt	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	5440	5440	77520
Qt	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	10880	0	77520
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5440	0	5440
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 467.84  
**COSTO TOTAL = \$ 641.64**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	366.18	805.85	622.60	479.41	986.24	1146.45	146.75	60.36	712.39	27.68	5532.16	
Dt	6433.82	6360.33	5623.25	6943.19	9013.18	6639.79	6439.70	6886.39	6147.97	6124.71	5375.52	4364.13	76351.97
Qt	6800	6800	5440	6800	9520	6800	5440	6800	6800	5440	10880	0	77520
It	366.18	805.85	622.60	479.41	986.24	1146.45	146.75	60.36	712.39	27.68	5532.16	1168.03	12054.09
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,036.65  
**COSTO TOTAL = \$ 1,210.45**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	7166.18	805.85	7422.60	479.41	7786.24	1146.45	8306.75	1420.36	8872.39	2747.68	6892.16	
Dt	6433.82	6360.33	5623.25	6943.19	9013.18	6639.79	6439.70	6886.39	6147.97	6124.71	5375.52	4364.13	76351.97
Qt	13600	0	12240	0	16320	0	13600	0	13600	0	9520	0	78880
It	7166.18	805.85	7422.60	479.41	7786.24	1146.45	8306.75	1420.36	8872.39	2747.68	6892.16	2528.03	55574.09
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 4,779.37  
**COSTO TOTAL = \$ 4,874.17**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.18. Cálculos de MP6\_C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP6_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	6530	3918
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)= 15.8	F(2)= 31.60	F(3)= 47.40	F(4)= 63.20	F(5)= 79.00	F(6)= 94.80	F(7)= 110.60	F(8)= 126.40	F(9)= 142.20	F(10)= 158.00	F(11)= 173.80	F(12)= 189.60
1	15.8	465.064	1588.224	3272.964	6417.812	9225.712	12595.192	16526.252	21018.892	26073.112	31688.912	35395.34
2		31.60	593.18	1716.34	4074.98	6321.30	9129.20	12498.68	16429.74	20922.38	25976.60	29346.08
3			47.40	608.98	2181.40	3866.14	6112.46	8920.36	12289.84	16220.90	20713.54	23746.08
4				63.20	849.41	1972.57	3657.31	5903.63	8711.53	12081.01	16012.07	18707.66
5					79.00	640.58	1763.74	3448.48	5694.80	8502.70	11872.18	14230.82
6						94.80	656.38	1779.54	3464.28	5710.60	8518.50	10540.19
7							110.60	672.18	1795.34	3480.08	5726.40	7411.14
8								126.40	687.98	1811.14	3495.88	4843.67
9									142.20	703.78	1826.94	2837.78
10										158.00	719.58	1393.48
11											173.80	510.75
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3918	
Dt	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	6530	3918	78360
Qt	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	10448	0	78360
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3918	0	3918
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 336.95  
**COSTO TOTAL = \$ 510.75**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	1265.97	217.65	1149.27	708.23	422.75	505.48	610.77	4.86	26.86	558.72	4869.69	
Dt	6570.03	6272.32	5598.38	6971.04	9427.48	6447.27	6424.71	7135.91	6508.00	5998.14	6137.03	4445.26	77935.57
Qt	7836	5224	6530	6530	9142	6530	6530	6530	6530	6530	10448	0	78360
It	1265.97	217.65	1149.27	708.23	422.75	505.48	610.77	4.86	26.86	558.72	4869.69	424.43	10764.66
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 925.76  
**COSTO TOTAL = \$ 1,099.56**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	7795.97	1523.65	10291.27	3320.23	9564.75	3117.48	11058.77	3922.86	10474.86	4476.72	10093.69	
Dt	6570.03	6272.32	5598.38	6971.04	9427.48	6447.27	6424.71	7135.91	6508.00	5998.14	6137.03	4445.26	77935.57
Qt	14366	0	14366	0	15672	0	14366	0	13060	0	11754	0	83584
It	7795.97	1523.65	10291.27	3320.23	9564.75	3117.48	11058.77	3922.86	10474.86	4476.72	10093.69	5648.43	81288.66
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 6,990.83  
**COSTO TOTAL = \$ 7,085.63**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.19. Cálculos de MP7\_C.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP7_C USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	2058000	1482600
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	189.60
1	15.8	132817	335570.6	612972.2	1228938.6	1893546.6	2843502.6	4063034.2	5316157.4	7005489.8	8775369.8	10177909.4
2		31.60	101408.40	286342.80	748317.60	1280004.00	2071634.00	3116946.80	4213429.60	5715058.40	7307950.40	8582986.40
3			47.40	92514.60	400497.80	799262.60	1432566.60	2303660.60	3243503.00	4557428.20	5973332.20	7120864.60
4				63.20	154054.80	419898.00	894876.00	1591751.20	2374953.20	3501174.80	4740090.80	5760119.60
5					79.00	133000.60	449652.60	972309.00	1598870.60	2537388.60	3599316.60	4491841.80
6						94.80	158420.80	506858.40	976779.60	1727594.00	2612534.00	3377555.60
7							110.60	174329.40	487610.20	1050721.00	1758673.00	2396191.00
8								126.40	156766.80	532174.00	1063138.00	1573152.40
9									142.20	187845.80	541821.80	924332.60
10										158.00	177146.00	432153.20
11											173.80	127677.40
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1482600	
Dt	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	2058000	1482600	19504800
Qt	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	3540600	0	19504800
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1482600	0	1482600
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 127,503.60  
**COSTO TOTAL = \$ 127,677.40**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	647.76	386.20	330.58	1221.15	375.45	533.90	1.70	796.75	1296.16	984.27	1483253.63	
Dt	958352.24	1544461.56	1178855.61	1074309.43	1791445.7	1545441.55	1841532.2	2025004.95	1820900.59	2182911.89	2058330.64	1482786.89	19504333.26
Qt	959000	1544200	1178800	1075200	1790600	1545600	1841000	2025800	1821400	2182600	3540600	0	19504800
It	647.76	386.20	330.58	1221.15	375.45	533.90	1.70	796.75	1296.16	984.27	1483253.63	466.74	1490294.27
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 128,165.31  
**COSTO TOTAL = \$ 128,339.11**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	647.76	386.20	330.58	1221.15	1775.45	1933.90	2801.70	3596.75	4096.16	3784.27	1486053.63	
Dt	958352.24	1544461.56	1178855.61	1074309.43	1791445.7	1545441.55	1841532.2	2025004.95	1820900.59	2182911.89	2058330.64	1482786.89	19504333.26
Qt	959000	1544200	1178800	1075200	1792000	1545600	1842400	2025800	1821400	2182600	3540600	0	19507600
It	647.76	386.20	330.58	1221.15	1775.45	1933.90	2801.70	3596.75	4096.16	3784.27	1486053.63	3266.74	1509894.27
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 129,850.91  
**COSTO TOTAL = \$ 130,024.71**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## Materia prima para ambos componentes

**Cuadro C.20. Cálculos de MP1\_A.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP1_A USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	1000	1000
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
1	15.8	101.8	273.8	789.8	1477.8	1907.8	2939.8	4143.8	5519.8	6293.8	7153.8	8099.8
2		31.60	117.60	461.60	977.60	1321.60	2181.60	3213.60	4417.60	5105.60	5879.60	6739.60
3			47.40	219.40	563.40	821.40	1509.40	2369.40	3401.40	4003.40	4691.40	5465.40
4				63.20	235.20	407.20	923.20	1611.20	2471.20	2987.20	3589.20	4277.20
5					79.00	165.00	509.00	1025.00	1713.00	2143.00	2659.00	3261.00
6						94.80	266.80	610.80	1126.80	1470.80	1900.80	2416.80
7							110.60	282.60	626.60	884.60	1228.60	1658.60
8								126.40	298.40	470.40	728.40	1072.40
9									142.20	228.20	400.20	658.20
10										158.00	244.00	416.00
11											173.80	259.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	
Dt	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	1000	1000	18000
Qt	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	2000	0	18000
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	1000
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 86.00  
**COSTO TOTAL = \$ 259.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	828.48	549.14	438.09	437.61	531.61	329.31	341.35	451.41	861.55	688.4	1416.22	
Dt	1171.52	1279.34	1111.05	2000.48	1906	1202.3	1987.96	1889.94	1589.86	1173.15	1272.18	771.7	17355.48
Qt	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	2000	0	18000
It	828.48	549.14	438.09	437.61	531.61	329.31	341.35	451.41	861.55	688.4	1416.22	644.52	7517.69
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 646.52  
**COSTO TOTAL = \$ 820.32**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	828.48	1549.14	1438.09	1437.61	1531.61	1329.31	1341.35	1451.41	1861.55	1688.4	3416.22	
Dt	1171.52	1279.34	1111.05	2000.48	1906	1202.3	1987.96	1889.94	1589.86	1173.15	1272.18	771.7	17355.48
Qt	2000	2000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	2000	1000	3000	0	20000
It	828.48	1549.14	1438.09	1437.61	1531.61	1329.31	1341.35	1451.41	1861.55	1688.4	3416.22	2644.52	20517.69
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,764.52  
**COSTO TOTAL = \$ 1,938.32**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Cuadro C.21. Cálculos de MP2\_A.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP2_A USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	1600	0	800	800	1600	800	0	800	800	800	800	800
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	15.80	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00
1	15.8	15.8	153.4	359.8	635	1323	1735.8	1735.8	2286.2	2905.4	3593.4	4350.2
2		31.60	100.40	238.00	444.40	994.80	1338.80	1338.80	1820.40	2370.80	2990.00	3678.00
3			31.60	100.40	238.00	650.80	926.00	926.00	1338.80	1820.40	2370.80	2990.00
4				47.40	116.20	391.40	597.80	597.80	941.80	1354.60	1836.20	2386.60
5					63.20	200.80	338.40	338.40	613.60	957.60	1370.40	1852.00
6						79.00	147.80	147.80	354.20	629.40	973.40	1386.20
7							94.80	94.80	232.40	438.80	714.00	1058.00
8								110.60	179.40	317.00	523.40	798.60
9									110.60	179.40	317.00	523.40
10										126.40	195.20	332.80
11											142.20	211.00
12												158.00
	ORDENAR		ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR		ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	
Dt	1600	0	800	800	800	1600	800	0	800	800	800	800	9600
Qt	1600	0	800	800	800	1600	800	0	800	800	1600		9600
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	800
PEDIDO	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	9

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 142.20  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 68.80  
**COSTO TOTAL = \$ 211.00**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	685.8	249.12	550.92	492.92	398.72	553.5	498.65	11.16	345.14	366.69	823.75	
Dt	914.2	436.68	498.2	858	894.2	1445.22	854.85	487.49	466.02	778.45	1142.94	326.58	9102.83
Qt	1600	0	800	800	800	1600	800	0	800	800	1600	0	9600
It	685.8	249.12	550.92	492.92	398.72	553.5	498.65	11.16	345.14	366.69	823.75	497.17	5473.54
PEDIDO	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	9

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 142.20  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 470.72  
**COSTO TOTAL = \$ 612.92**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	685.8	249.12	1350.92	492.92	1998.72	553.5	1298.65	811.16	1945.14	1166.69	2423.75	
Dt	914.2	436.68	498.2	858	894.2	1445.22	854.85	487.49	466.02	778.45	1142.94	326.58	9102.83
Qt	1600	0	1600	0	2400	0	1600	0	1600	0	2400	0	11200
It	685.8	249.12	1350.92	492.92	1998.72	553.5	1298.65	811.16	1945.14	1166.69	2423.75	2097.17	15073.54
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,296.32  
**COSTO TOTAL = \$ 1,391.12**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Cuadro C.22. Cálculos de MP3\_A.

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP3_A USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	2345	2380	1995	2940	2485	2450	3640	2415	2310	2485	2730	1820
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	189.60
1	15.8	220.48	563.62	1322.14	2176.98	3230.48	5108.72	6562.55	8151.83	10075.22	12423.02	14144.74
2		31.60	203.17	708.85	1349.98	2192.78	3757.98	5004.12	6394.74	8104.42	10217.44	11782.64
3			47.40	300.24	727.66	1359.76	2611.92	3650.37	4842.33	6338.30	8216.54	9625.22
4				63.20	276.91	698.31	1637.43	2468.19	3461.49	4743.75	6387.21	7639.37
5					79.00	289.70	915.78	1538.85	2333.49	3402.04	4810.72	5906.36
6						94.80	407.84	823.22	1419.20	2274.04	3447.94	4387.06
7							110.60	318.29	715.61	1356.74	2295.86	3078.46
8								126.40	325.06	752.48	1456.82	2082.90
9									142.20	355.91	825.47	1295.03
10										158.00	392.78	705.82
11											173.80	330.32
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1820	
Dt	2345	2380	1995	2940	2485	2450	3640	2415	2310	2485	2730	1820	29995
Qt	2345	2380	1995	2940	2485	2450	3640	2415	2310	2485	4550	0	29995
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1820	0	1820
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 156.52  
**COSTO TOTAL = \$ 330.32**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	16.75	17.43	1.02	8.46	3.59	29.27	30.97	16.07	19.18	16.74	1841.31	
Dt	2328.25	2379.32	2011.41	2932.56	2489.87	2424.32	3638.3	2429.9	2306.89	2487.44	2725.43	1816.9	29970.59
Qt	2345	2380	1995	2940	2485	2450	3640	2415	2310	2485	4550	0	29995
It	16.75	17.43	1.02	8.46	3.59	29.27	30.97	16.07	19.18	16.74	1841.31	24.41	2025.2
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 174.17  
**COSTO TOTAL = \$ 347.97**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	2396.75	17.43	2976.02	43.46	2488.59	64.27	2515.97	86.07	2574.18	86.74	1911.31	
Dt	2328.25	2379.32	2011.41	2932.56	2489.87	2424.32	3638.3	2429.9	2306.89	2487.44	2725.43	1816.9	29970.59
Qt	4725	0	4970	0	4935	0	6090	0	4795	0	4550	0	30065
It	2396.75	17.43	2976.02	43.46	2488.59	64.27	2515.97	86.07	2574.18	86.74	1911.31	94.41	15255.2
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,311.95  
**COSTO TOTAL = \$ 1,406.75**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Cuadro C.23. Cálculos de MP4\_A.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP4_A USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	2880	3456	2304	2880	3456	2880	4032	3456	2304	3456	4032	2304
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	189.60
1	15.8	313.016	709.304	1452.344	2641.208	3879.608	5960.12	8040.632	9625.784	12300.728	15768.248	17947.832
2		31.60	229.74	725.10	1616.75	2607.47	4341.23	6124.53	7511.54	9889.26	13010.03	14991.47
3			47.40	295.08	889.51	1632.55	3019.56	4505.64	5694.50	7775.02	10549.03	12332.33
4				63.20	360.42	855.78	1896.03	3084.90	4075.62	5858.91	8286.18	9871.33
5					79.00	326.68	1020.18	1911.83	2704.41	4190.49	6271.00	7658.01
6						94.80	441.55	1035.98	1630.42	2819.28	4553.04	5741.90
7							110.60	407.82	804.10	1695.75	3082.76	4073.48
8								126.40	324.54	918.98	1959.23	2751.81
9									142.20	439.42	1132.92	1727.35
10										158.00	504.75	901.04
11											173.80	371.94
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2304	
Dt	2880	3456	2304	2880	3456	2880	4032	3456	2304	3456	4032	2304	37440
Qt	2880	3456	2304	2880	3456	2880	4032	3456	2304	3456	6336	0	37440
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2304	0	2304
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 198.14  
**COSTO TOTAL = \$ 371.94**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	105	369	380	168	371	285	494	528	212	32	2343	
Dt	2775	3192	2293	3092	3253	2966	3823	3422	2620	3636	4025	2150	37247
Qt	2880	3456	2304	2880	3456	2880	4032	3456	2304	3456	6336	0	37440
It	105	369	380	168	371	285	494	528	212	32	2343	193	5480
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 471.28  
**COSTO TOTAL = \$ 645.08**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	3561	369	3836	744	3827	861	4526	1104	5396	1760	4071	
Dt	2775	3192	2293	3092	3253	2966	3823	3422	2620	3636	4025	2150	37247
Qt	6336	0	5760	0	6336	0	7488	0	6912	0	6336	0	39168
It	3561	369	3836	744	3827	861	4526	1104	5396	1760	4071	1921	31976
PEDIDO	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 94.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 2,749.94  
**COSTO TOTAL = \$ 2,844.74**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Cuadro C.24. Cálculos de MP5\_A.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP5_A USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	2500	1250	1250	2500	3750	1250	2500	1250	1250	1250	1250	0
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	173.80
1	15.8	123.3	338.3	983.3	2273.3	2810.8	4100.8	4853.3	5713.3	6680.8	7755.8	7755.8
2		31.60	139.10	569.10	1536.60	1966.60	3041.60	3686.60	4439.10	5299.10	6266.60	6266.60
3			47.40	262.40	907.40	1229.90	2089.90	2627.40	3272.40	4024.90	4884.90	4884.90
4				63.20	385.70	600.70	1245.70	1675.70	2213.20	2858.20	3610.70	3610.70
5					79.00	186.50	616.50	939.00	1369.00	1906.50	2551.50	2551.50
6						94.80	309.80	524.80	847.30	1277.30	1814.80	1814.80
7							110.60	218.10	433.10	755.60	1185.60	1185.60
8								126.40	233.90	448.90	771.40	771.40
9									142.20	249.70	464.70	464.70
10										158.00	265.50	265.50
11											173.80	173.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dt	2500	1250	1250	2500	3750	1250	2500	1250	1250	1250	1250	0	20000
Qt	2500	1250	1250	2500	3750	1250	2500	1250	1250	1250	1250	0	20000
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ -  
**COSTO TOTAL = \$ 173.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	997	722	170	740	844	268	476	731	471	533	827	
Dt	1503	1525	1802	1930	3646	1826	2292	995	1510	1188	956	720	19893
Qt	2500	1250	1250	2500	3750	1250	2500	1250	1250	1250	1250	0	20000
It	997	722	170	740	844	268	476	731	471	533	827	107	6886
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 592.20  
**COSTO TOTAL = \$ 766.00**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	997	722	1420	1990	2094	2768	2976	3231	2971	3033	4577	
Dt	1503	1525	1802	1930	3646	1826	2292	995	1510	1188	956	720	19893
Qt	2500	1250	2500	2500	3750	2500	2500	1250	1250	1250	2500	0	23750
It	997	722	1420	1990	2094	2768	2976	3231	2971	3033	4577	3857	30636
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 2,634.70  
**COSTO TOTAL = \$ 2,808.50**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

**Cuadro C.25. Cálculos de MP6\_A.**

POLÍTICA ÓPTIMA DE PEDIDOS PARA MP6_A USANDO EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN												
Costo de pedido (A) =		15.8		usd/pedido								
Costo de almacenamiento (h) =		0.086		usd/mes								
DEMANDA	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	17000	12000
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F(t)	F(1)=	F(2)=	F(3)=	F(4)=	F(5)=	F(6)=	F(7)=	F(8)=	F(9)=	F(10)=	F(11)=	F(12)=
	15.8	31.60	47.40	63.20	79.00	94.80	110.60	126.40	142.20	158.00	173.80	189.60
1	15.8	1391.8	3111.8	5949.8	10421.8	17731.8	35275.8	46111.8	58495.8	72427.8	87047.8	98399.8
2		31.60	891.60	2783.60	6137.60	11985.60	26605.60	35893.60	46729.60	59113.60	72271.60	82591.60
3			47.40	993.40	3229.40	7615.40	19311.40	27051.40	36339.40	47175.40	58871.40	68159.40
4				63.20	1181.20	4105.20	12877.20	19069.20	26809.20	36097.20	46331.20	54587.20
5					79.00	1541.00	7389.00	12033.00	18225.00	25965.00	34737.00	41961.00
6						94.80	3018.80	6114.80	10758.80	16950.80	24260.80	30452.80
7							110.60	1658.60	4754.60	9398.60	15246.60	20406.60
8								126.40	1674.40	4770.40	9156.40	13284.40
9									142.20	1690.20	4614.20	7710.20
10										158.00	1620.00	3684.00
11											173.80	1205.80
12												189.60
	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	ORDENAR	

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000	
Dt	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	17000	12000	201000
Qt	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	29000	0	201000
It	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000	0	12000
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,032.00  
**COSTO TOTAL = \$ 1,205.80**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA DEL ALGORITMO WAGNER-WHITIN (SIN STD PACK)													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	365	582	115	296	173	750	510	352	428	109	12454	
Dt	16635	15783	10467	10819	13123	16423	34240	18158	17924	18319	16655	12379	200925
Qt	17000	16000	10000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	18000	29000	0	201000
It	365	582	115	296	173	750	510	352	428	109	12454	75	16209
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 1,393.97  
**COSTO TOTAL = \$ 1,567.77**

RESULTADOS DE LA POLÍTICA APLICADA POR LA EMPRESA													
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
It-1	0	365	582	1115	1296	1173	1750	1510	1352	1428	2109	15454	
Dt	16635	15783	10467	10819	13123	16423	34240	18158	17924	18319	16655	12379	200925
Qt	17000	16000	11000	11000	13000	17000	34000	18000	18000	19000	30000	0	204000
It	365	582	1115	1296	1173	1750	1510	1352	1428	2109	15454	3075	31209
PEDIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11

Costo total de pedidos (# DE PEDIDOS X A) = \$ 173.80  
 Costo total de almacenamiento (It TOTAL X h) = \$ 2,683.97  
**COSTO TOTAL = \$ 2,857.77**

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## Anexo D

## Pruebas de hipótesis de la materia del componente B.

Tabla D.1. Resultados de las pruebas de hipótesis en las materias primas del componente B.

	Ecuación de la recta de tendencia	Prueba de Hipótesis	Valor t	$t_{\alpha/2, n-2}$ $t_{0.025, 34}$	Conclusión de la prueba de hipótesis (Rechazo $H_0$ si $ t_c  > t_{\alpha/2, n-2}$ )
MP1_B	$y_1 = 16748 + 336.7 x_1$	$H_0: \beta_1 = 0$ $H_1: \beta_1 \neq 0$	3.051	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP2_B	$y_2 = 13660 + 276.9 x_2$		3.51	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP3_B	$y_3 = 430.3 + 3.54 x_3$		0.87	2.0336	NO RECHAZO $H_0$ , indicando $\beta_1$ es igual a cero y con esto, se concluye que no existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP4_B	$y_4 = 1584666 + 34489 x_4$		3.4	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP5_B	$y_5 = 2944 + 60.6 x_5$		3.5	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP6_B	$y_6 = 15946 + 321.9 x_6$		3.45	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP7_B	$y_7 = 33209 + 668 x_7$		3.49	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP8_B	$y_8 = 33410 + 671 x_8$		3.36	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP9_B	$y_9 = 126430 + 2548 x_9$		3.43	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP10_B	$y_{10} = 6841 + 174.0 x_{10}$		4.48	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP11_B	$y_{11} = 4860 + 100.6 x_{11}$		3.61	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP12_B	$y_{12} = 13542 + 165.3 x_{12}$		1.87	2.0336	NO RECHAZO $H_0$ , indicando $\beta_1$ es igual a cero y con esto, se concluye que no existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

## Pruebas de hipótesis de la materia del componente C.

**Tabla D.2.** Resultados de las pruebas de hipótesis en las materias primas del componente C.

	Ecuación de la recta de tendencia	Prueba de Hipótesis	Valor t	$t_{\alpha/2, n-2}$ $t_{0.025, 34}$	Conclusión de la prueba de hipótesis (Rechazo $H_0$ si $ t_c  > t_{\alpha/2, n-2}$ )
MP1_C	$y_1 = 72579 + 1094 x_1$	$H_0: \beta_1 = 0$ $H_1: \beta_1 \neq 0$	3.29	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP2_C	$y_2 = 398.1 + 5.45 x_2$		1.56	2.0336	NO RECHAZO $H_0$ , indicando $\beta_1$ es igual a cero y con esto, se concluye que no existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP3_C	$y_3 = 116.3 + 2.378 x_3$		4.20	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP4_C	$y_4 = 48046 + 780 x_4$		4.14	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP5_C	$y_5 = 4012 + 61.0 x_5$		3.22	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP6_C	$y_6 = 4037 + 65.3 x_6$		3.37	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP7_C	$y_7 = 948564 + 22722 x_7$		3.78	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Pruebas de hipótesis de la materia prima de ambos componentes.

**Tabla D.3.** Resultados de las pruebas de hipótesis en las materias primas para ambos componentes.

	Ecuación de la recta de tendencia	Prueba de Hipótesis	Valor t	$t_{\alpha/2, n-2}$ $t_{0.025, 34}$	Conclusión de la prueba de hipótesis (Rechazo $H_0$ si $ t_c  > t_{\alpha/2, n-2}$ )
MP1_A	$y_1 = 838 + 16.00 x_1$	$H_0: \beta_1 = 0$ $H_1: \beta_1 \neq 0$	2.85	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP2_A	$y_2 = 414.1 + 8.74 x_2$		2.03	2.0336	NO RECHAZO $H_0$ , indicando $\beta_1$ es igual a cero y con esto, se concluye que no existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP3_A	$y_3 = 1483 + 28.25 x_3$		5.03	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP4_A	$y_4 = 1800 + 37.92 x_4$		4.82	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP5_A	$y_5 = 1138 + 13.1 x_5$		1.26	2.0336	NO RECHAZO $H_0$ , indicando $\beta_1$ es igual a cero y con esto, se concluye que no existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).
MP6_A	$y_6 = 9183 + 224.6 x_6$		3.13	2.0336	RECHAZO $H_0$ , indicando que $\beta_1$ no es igual a cero y con esto, se concluye que existe relación lineal entre la materia prima requerida (y) y el periodo de compra (x).

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)

Resumen de índices estaciones de las 25 materias primas de estudio.

**Cuadro D.1. Índices estaciones de las 25 materias primas de estudio.**

ÍNDICES ESTACIONALES MATERIA PRIMA COMPONENTE B												
NÚMERO DE PARTE	MP1_B	MP2_B	MP3_B	MP4_B	MP5_B	MP6_B	MP7_B	MP8_B	MP9_B	MP10_B	MP11_B	MP12_B
ENERO	1.00	1.00	1.70	0.96	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	1.01	1.00	1.27
FEBRERO	1.05	1.05	1.19	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.02	1.00	1.04	1.01
MARZO	0.81	0.79	1.09	0.73	0.77	0.77	0.75	0.78	0.78	0.62	0.75	1.01
ABRIL	1.20	1.20	1.46	1.14	1.18	1.21	1.19	1.18	1.19	1.22	1.17	1.19
MAYO	0.98	1.00	0.74	0.93	0.99	1.01	1.03	1.02	0.99	1.06	1.00	1.19
JUNIO	0.94	0.93	0.51	0.91	0.97	0.95	1.01	0.99	0.96	0.92	0.92	0.92
JULIO	1.37	1.38	1.55	1.47	1.40	1.39	1.36	1.40	1.40	1.09	1.37	1.06
AGOSTO	0.91	0.91	0.89	1.15	1.11	1.10	1.08	1.10	1.10	0.76	1.05	1.05
SEPTIEMBRE	0.92	0.91	0.29	0.93	0.87	0.92	0.88	0.87	0.87	0.84	0.87	1.20
OCTUBRE	1.02	1.02	0.84	0.98	0.99	0.96	1.00	0.99	0.98	1.06	1.02	0.90
NOVIEMBRE	1.01	1.01	1.12	1.01	0.97	0.96	0.95	0.96	0.96	1.27	1.00	0.59
DICIEMBRE	0.80	0.81	0.62	0.78	0.78	0.77	0.77	0.76	0.79	1.15	0.81	0.61
<b>MÁXIMO</b>	<b>1.37</b>	<b>1.38</b>	<b>1.70</b>	<b>1.47</b>	<b>1.40</b>	<b>1.39</b>	<b>1.36</b>	<b>1.40</b>	<b>1.40</b>	<b>1.27</b>	<b>1.37</b>	<b>1.27</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.80</b>	<b>0.79</b>	<b>0.29</b>	<b>0.73</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0.75</b>	<b>0.76</b>	<b>0.78</b>	<b>0.62</b>	<b>0.75</b>	<b>0.59</b>

ÍNDICES ESTACIONALES MATERIA PRIMA COMPONENTE C							
NÚMERO DE PARTE	MP1_C	MP2_C	MP3_C	MP4_C	MP5_C	MP6_C	MP7_C
ENERO	1.07	0.95	0.99	1.09	1.03	1.04	0.95
FEBRERO	1.01	0.80	0.97	1.11	1.08	1.02	1.16
MARZO	1.05	1.28	0.86	0.94	0.90	0.87	0.70
ABRIL	0.96	0.83	0.82	0.94	1.02	1.00	0.59
MAYO	1.34	1.37	1.23	1.17	1.51	1.55	1.12
JUNIO	1.15	1.22	1.13	1.11	1.08	1.03	0.93
JULIO	1.07	1.07	0.68	0.71	0.70	0.69	0.74
AGOSTO	0.70	1.19	0.97	0.95	0.93	0.95	1.02
SEPTIEMBRE	0.95	0.67	1.05	1.02	1.00	1.04	1.09
OCTUBRE	1.00	1.81	1.27	1.09	1.08	1.04	1.43
NOVIEMBRE	1.03	0.48	1.19	1.01	0.84	0.94	1.21
DICIEMBRE	0.97	0.34	0.84	0.86	0.83	0.83	1.06
<b>MÁXIMO</b>	<b>0.79</b>	<b>1.81</b>	<b>1.27</b>	<b>1.17</b>	<b>1.51</b>	<b>1.55</b>	<b>1.43</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.70</b>	<b>0.34</b>	<b>0.68</b>	<b>0.71</b>	<b>0.70</b>	<b>0.69</b>	<b>0.59</b>

ÍNDICES ESTACIONALES MATERIA PRIMA AMBOS COMPONENTES						
NÚMERO DE PARTE	MP1_A	MP2_A	MP3_A	MP4_A	MP5_A	MP6_A
ENERO	0.67	1.06	1.04	0.96	0.93	1.06
FEBRERO	0.82	0.65	1.07	1.13	0.90	1.05
MARZO	0.84	0.77	0.86	0.78	1.04	0.68
ABRIL	1.36	1.20	1.13	0.95	1.02	0.60
MAYO	1.42	1.39	1.00	1.07	2.19	0.78
JUNIO	0.88	1.31	0.97	0.96	1.13	0.98
JULIO	1.05	0.89	1.10	0.91	1.32	1.59
AGOSTO	1.33	0.68	1.02	1.10	0.65	1.20
SEPTIEMBRE	1.18	0.70	0.93	0.86	0.91	1.09
OCTUBRE	0.90	1.22	1.01	1.21	0.68	1.11
NOVIEMBRE	0.89	1.57	1.04	1.25	0.71	0.96
DICIEMBRE	0.66	0.57	0.82	0.82	0.51	0.88
<b>MÁXIMO</b>	<b>1.42</b>	<b>1.57</b>	<b>1.13</b>	<b>1.25</b>	<b>2.19</b>	<b>1.59</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.66</b>	<b>0.57</b>	<b>0.82</b>	<b>0.78</b>	<b>0.51</b>	<b>0.60</b>

(Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa)