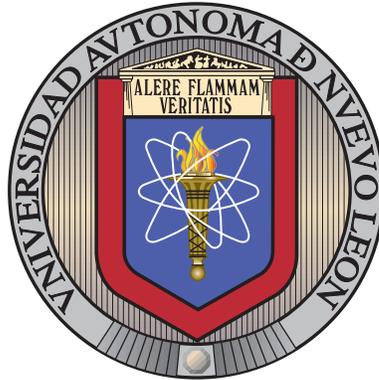


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



DISMINUCIÓN DE DESABASTO DE MATERIA  
PRIMA Y PRODUCTOS MANUFACTURADOS  
MEDIANTE HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS PARA  
EL CONTROL DE INVENTARIO

POR

DOLORES GUADALUPE GONZÁLEZ DÍAZ

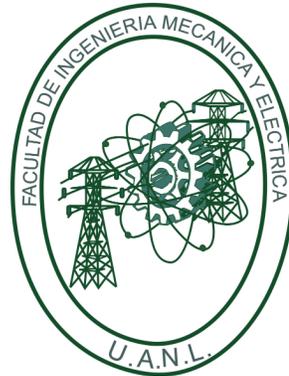
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

OCTUBRE 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



DISMINUCIÓN DE DESABASTO DE MATERIA  
PRIMA Y PRODUCTOS MANUFACTURADOS  
MEDIANTE HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS PARA  
EL CONTROL DE INVENTARIO

POR

DOLORES GUADALUPE GONZÁLEZ DÍAZ

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

OCTUBRE 2019

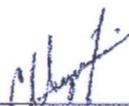
Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Subdirección de Estudios de Posgrado

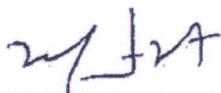
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Disminución de desabasto de materia prima y productos manufacturados mediante herramientas cuantitativas para el control de inventario», realizada por el alumno Dolores Guadalupe González Díaz, con número de matrícula 1937472, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



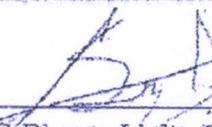
Dr. Miguel Mata Pérez

Asesor



M.A. Manuel Fariás Martínez

Revisor



MLCS Blanca Idalia Pérez Pérez

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado

*Dedico este trabajo de investigación a mi familia, por siempre apoyarme y motivarme en los retos que emprendo.*

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>x</b>
<b>Resumen</b>	<b>xii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del Problema . . . . .	2
1.2. Objetivo . . . . .	3
1.3. Alcance . . . . .	3
1.4. Hipótesis . . . . .	3
1.5. Justificación . . . . .	4
1.6. Metodología . . . . .	5
1.7. Contenido . . . . .	5
<b>2. Revisión de la literatura</b>	<b>6</b>
2.1. Cadena de suministro . . . . .	6
2.1.1. Administración de cadena de suministro . . . . .	7
2.2. El inventario . . . . .	7

---

2.2.1. El rol del inventario en la cadena de suministro . . . . .	8
2.2.2. Inventario y flujo de materiales . . . . .	8
2.2.3. Funciones del inventario . . . . .	9
2.2.4. Objetivo de la administración de inventario . . . . .	10
2.2.5. Costos del inventario en la cadena de suministro . . . . .	11
2.3. Estructura y configuración de producto . . . . .	12
2.3.1. Matriz de lista de materiales (BOM) . . . . .	13
2.4. Sistemas de manufactura . . . . .	14
2.4.1. Tipos de sistemas o ambientes de manufactura . . . . .	14
2.4.2. Determinantes de los ambientes de manufactura . . . . .	14
2.4.3. Relación de los sistemas de manufactura y la estructura de producto con la administración de inventarios . . . . .	16
2.5. Puntos de desacoplamiento . . . . .	19
2.6. Análisis ABC . . . . .	20
2.7. Inventario de seguridad en casos de aplicación . . . . .	21
2.8. Distribución normal y pruebas de normalidad . . . . .	23
2.9. Políticas de abastecimiento . . . . .	24
2.10. Conclusiones del capítulo . . . . .	25
<b>3. Metodología</b>	<b>28</b>
3.1. Etapa 1: Delimitación del proyecto de investigación . . . . .	28

---

3.2. Etapa 2: Selección y desarrollo de herramientas . . . . .	30
3.3. Etapa 3: Resultados y conclusiones . . . . .	35
<b>4. Implementación y resultados</b>	<b>36</b>
4.1. Etapa 1: Delimitación del proyecto de investigación . . . . .	36
4.2. Etapa 2: Selección y desarrollo de herramientas . . . . .	38
4.2.1. Análisis de estructura de producto o lista de materiales . . . . .	39
4.2.2. Análisis de sistema de manufactura . . . . .	40
4.2.3. Selección de puntos de desacoplamiento . . . . .	43
4.2.4. Clasificación ABC . . . . .	44
4.2.5. Selección de modelo de inventario . . . . .	47
4.2.6. Determinación de inventario de seguridad . . . . .	48
4.2.7. Determinación de puntos de reorden . . . . .	52
4.3. Etapa 3: Resultados y conclusiones . . . . .	53
<b>5. Conclusiones</b>	<b>55</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	55
5.2. Contribuciones . . . . .	56
5.3. Recomendaciones para trabajo futuro . . . . .	56
5.4. Conclusiones personales . . . . .	56

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

2.1. Sistemas de manufactura y tiempos de entrega. Adaptado de APICS (2015). . . . .	17
2.2. Relación entre volumen y variedad de producto. Adaptado de APICS (2015). . . . .	18
2.3. Ciclo de vida de producto y ambientes de manufactura. Adaptado de APICS (2015). . . . .	19
4.1. Localización de inventario en puntos de desacoplamiento en sistema de manufactura . . . . .	43

# ÍNDICE DE TABLAS

---

2.1. Descripción de los ambientes de manufactura. . . . .	15
2.2. Factores determinantes de los ambientes de manufactura. . . . .	16
2.3. Relación de volumen y variedad de producto con los ambientes de manufactura. Adaptado de APICS (2015). . . . .	26
2.4. Tipos de políticas de abastecimiento de inventario. . . . .	27
2.5. Modelos de inventario y abastecimiento. . . . .	27
4.1. Matriz de lista de materiales . . . . .	40
4.2. Matriz de ruta de proceso . . . . .	41
4.3. Matriz de agrupamiento por proceso . . . . .	42
4.4. Clasificación ABC y nivel de servicio . . . . .	47
4.5. Inventario de seguridad . . . . .	49
4.6. Muestra de evaluación del inventario de seguridad . . . . .	50
4.7. Evaluación de inventario de seguridad en materia prima . . . . .	51
4.8. Evaluación de inventario de seguridad en productos manufacturados .	52

# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco de todo corazón a todas las personas que han contribuido de una forma u otra a la realización de este proyecto.

Agradezco primeramente a Dios, por la oportunidad que me dió de concluir esta meta, por llenarme de bendiciones y de sabiduría.

A mi familia, en especial a mis padres, mi papá José Antonio González Ramírez y mi mamá María Guadalupe Díaz Martínez, de quienes he aprendido que con dedicación, esfuerzo y paciencia todo es posible y que gracias a ellos me he convertido en la mujer que soy; a mis hermanos Toño y Beto, por estar al pendiente de mi trabajo a lo largo del trayecto y motivarme a continuar adelante.

A mi persona especial, quien sin duda ha sido mi gran apoyo, respaldo y soporte en la realización de actividades desde de mi día a día. Tu ayuda fue vital para que pudiera realizar este trabajo.

A la empresa donde trabajo, por brindarme el patrocinio económico para estudiar esta maestría e impulsar mi plan de carrera. A mis gerentes Yan Guzmán y Miguel Carrillo; a Yan por apoyarme en conseguir la beca de la empresa; a Miguel por su apoyo durante la recta final de esta tesis al mismo tiempo que atravesamos momentos críticos de la compañía; y a los dos, por darme la oportunidad de salir durante el horario de trabajo para atender asuntos de la maestría.

A mis maestros de posgrado, por los conocimientos que me enseñaron durante clases. En especial al Dr. Miguel Mata Pérez por inspirarme a realizar este trabajo de

tesis, su tutoría fue fundamental para realizarla, gracias por su tiempo, disposición, flexibilidad y sobre todo claridad al enseñarme; y a la Dra. Jania Astrid saucedo Martínez, por orientarme en múltiples temas, siempre y desde el primer día.

A mis compañeros de posgrado por orientarme en los temas que desconocía, por sus recomendaciones y sugerencias, por compartirme su conocimiento, y sobre todo, por su amistad.

A todos ustedes, mi mas sincero y profundo agradecimiento. Muchas gracias.

# RESUMEN

---

Dolores Guadalupe González Díaz.

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

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: DISMINUCIÓN DE DESABASTO DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS MANUFACTURADOS MEDIANTE HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS PARA EL CONTROL DE INVENTARIO.

Número de páginas: 60.

**OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:** El objetivo de este trabajo de tesis es mejorar el control de inventarios mediante el establecimiento estratégico de inventarios de seguridad para disminuir desabasto de materiales mediante la utilización de herramientas cuantitativas para el control de inventario. Este proyecto surge como necesidad de una empresa de la región que presenta un constante desabastecimiento de materiales requeridos para satisfacer órdenes de clientes.

La investigación ha sido desarrollado en tres etapas principales. La primera etapa consiste en identificar el problema, delimitarlo e investigar bibliografía para buscar herramientas que se hayan utilizado en la solución de problemas similares. La segunda etapa consiste en seleccionar y desarrollar las herramientas de solución

al caso de estudio que se consideren resuelvan las necesidades del problema aquí planteado. Finalmente, la tercera etapa incluye implementar las herramientas seleccionadas, analizar resultados y redactar un informe técnico.

**CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES:** Los resultados de la implementación demuestran que la utilización de herramientas cuantitativas en la industria moderna continúan siendo efectivas para mejorar el desempeño de las cadenas de suministro. Esta metodología integra la forma en la que no sólo se deben calcular los inventarios, sino la forma en la que se deben planear, considerando elementos claves de la organización, de sus productos y de sus clientes. Elementos clave como la estructura de sus productos, el ambiente de manufactura, los puntos de desacoplamiento, el tipo de productos, demandas y clientes y las características de cada uno.

Firma del asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. Miguel Mata Pérez

## CAPÍTULO 1

# INTRODUCCIÓN

---

La presente investigación pretende ofrecer una mejora en el control de inventarios de una empresa real que tiene dificultades para entregar las órdenes de sus clientes a tiempo.

Actualmente, en ambientes competitivos en una rápida economía global, con frecuentes avances tecnológicos, con alta demanda de productos personalizados y frente a una gran reducción del ciclo de vida de productos, es imprescindible que los administradores de cadena de suministro tomen acción inmediata en problemas competitivos y relevantes. Ejemplos de problemas relevantes en las cadenas de suministro son la escasez de inventario, las quejas de clientes, la imprecisión en el pronóstico de la demanda y la falta de confiabilidad para entregar lo que se promete. Quienes fabrican, se enfrentan a una creciente presión ante los requerimientos de los clientes en cuanto a personalización de productos, mejora en la calidad y capacidad para responder ante una orden; mientras que al mismo tiempo, y con el objetivo de mantenerse rentables, buscan disminuir costos de producción, reducir tiempos de ciclo y reducir niveles de inventarios. Por esto, y con la finalidad de cumplir los retos anteriores, cada vez más las organizaciones tienden a crear relaciones estratégicas de largo plazo con elementos clave de la cadena de suministro para trabajar en equipo en temas estratégicos como lo son el desarrollo de producto, la administración de inventario y las entregas (Chan y Qi, 2003).

Partiendo de lo anterior, la administración de inventario ha recibido atención importante tanto en la academia, como en la industria, es un factor clave en la administración efectiva de una cadena de suministro (Talluri *et al.*, 2004). El inventario es uno de los cinco elementos principales de la cadena de suministro, siendo estos el abastecimiento, la manufactura, el inventario, la distribución y el flujo de información. Una administración de inventario efectiva satisface las necesidades de los clientes, hace eficiente los procesos de producción y disminuye costos de operación, impactando directamente en el desempeño de la organización (Awheda *et al.*, 2016). Por ello, múltiples herramientas y técnicas se han desarrollado para manejar y controlar inventarios a lo largo de toda una cadena de suministro, con la finalidad de reducir costos, mejorar eficiencias en general, y por lo tanto mejorar rentabilidad de las organizaciones; ejemplos de estas herramientas son justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés *just in time*), inventario de seguridad (SS, por sus siglas en inglés *Safety Stock*), modelo de lote económico (EOQ, por sus siglas en inglés *Economic Order Quantity*), modelo de lote económico de producción (EPQ, por sus siglas en inglés *Economic Production Quantity*) inventario de proveedor administrado (VMI, por sus siglas en inglés *Vendor Managed Inventory*), puntos de re-orden (ROP, por sus siglas en inglés *Reorder Point*), entre otros.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto surge como necesidad de una empresa de la región que tiene problemas en el control del nivel de sus inventarios. La empresa frecuentemente incurre en desabasto de materia prima y productos manufacturados, sólo entrega el 30 % de sus órdenes a tiempo, y a su vez, el 40 % de las órdenes las inicia a destiempo debido a escasez de materiales. La empresa es de giro metal mecánico, fabrica válvulas y bombas para sistemas hidráulicos y su ambiente o sistema de manufactura es ensamble a la orden. Es una unidad de negocio de reciente creación, cuya antigüedad es de 2 años y es parte de una empresa de nivel y presencia internacional. Actual-

mente, los planeadores de la empresa no utilizan herramientas o métodos científicos para el control y determinación de niveles de inventario. La presente investigación pretende ser una guía para proporcionar herramientas cuantitativas a la empresa de forma que le permita mejorar su control de inventario y por lo tanto su desempeño en el servicio al cliente.

## 1.2 OBJETIVO

Mejorar el control de inventarios mediante el establecimiento estratégico de inventarios de seguridad para disminuir desabasto de materiales y permitir a las organizaciones proveer los materiales necesarios en el momento indicado al menor costo posible, entendiéndose por materiales tanto a componentes comprados a proveedores externos como a materiales fabricados en un ambiente de manufactura, a través de la utilización de herramientas cuantitativas.

## 1.3 ALCANCE

El alcance de la investigación incluye la determinación de inventarios de seguridad propuestos para la familia de productos elegida, y para los productos de largo tiempo de entrega. No incluye la ejecución de la adquisición y/o fabricación de los materiales ni otras familias de productos.

## 1.4 HIPÓTESIS

El establecimiento estratégico de inventarios, mediante la utilización de herramientas cuantitativas para el cálculo de inventarios de seguridad, reduce el desabastecimiento de materiales en los procesos de manufactura. Y por consecuencia mejora

la entrega de órdenes.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

La administración de inventarios es un factor clave en la administración efectiva de una cadena de suministro (Talluri *et al.*, 2004). Una administración de inventario efectiva satisface las necesidades de los clientes, hace eficiente los procesos de producción y disminuye costos de operación, impactando directamente en el desempeño de la organización (Awheda *et al.*, 2016).

El nivel de inventario es el factor más importante de entre los factores que afectan el desempeño de la cadena de suministro ya que impacta directamente en la disponibilidad de órdenes, su entrega y por lo tanto la satisfacción del cliente (Awheda *et al.*, 2016). En la mayoría de las empresas el inventario significa altos costos, pueden representar hasta el 50 % de sus activos (Beheshti, 2010) y hasta entre tres y cinco meses de su consumo mensual (Stevens, 1989). Sin embargo, el no contar con inventario suficiente puede resultar en costos de escasez, tales como pérdida de ventas e incluso pérdida de clientes. Los inventarios proporcionan seguridad y permiten flexibilidad operativa, son la base de una cadena de suministro integrada, y al mismo tiempo representan dinero inmovilizado que no se utiliza para el crecimiento de la organización (Steele y Plunkett, 1994).

En el presente caso de estudio, existe un constante desabastecimiento de materiales requeridos para satisfacer órdenes de clientes. Actualmente no se utilizan métodos científicos para el establecimiento de inventarios de seguridad. En cuanto a su desempeño, la empresa entrega solo el 30 % de sus órdenes a tiempo, y mayormente tampoco las comienza a tiempo debido a escasez de materiales, representando esta causa el 40 % del inicio a destiempo.

Por lo anterior, el estudio en los inventarios de seguridad y principalmente su control, es de interés tanto para la industria como para la academia.

## 1.6 METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación consiste en los siguientes pasos:

1. Realizar una revisión de la literatura para buscar herramientas y técnicas que se hayan utilizado en la solución de problemas similares.
2. Seleccionar las herramientas y técnicas que se consideren se apeguen a resolver las necesidades del problema aquí planteado.
3. Implementar las herramientas y técnicas aprendidas en el caso de estudio.
4. Revisar y analizar los resultados de la implementación.
5. Realizar un informe técnico.

## 1.7 CONTENIDO

El contenido del presente trabajo de investigación se estructura de la siguiente manera: el primer capítulo explica la introducción al tema a tratar a lo largo de la investigación; el segundo incorpora la revisión de la literatura que respalda el tema y sus antecedentes; el tercer capítulo describe la metodología a seguir durante la investigación; el cuarto capítulo describe la implementación y los resultados a la solución del problema; y el último presenta las conclusiones finales del estudio.

## CAPÍTULO 2

# REVISIÓN DE LA LITERATURA

---

## 2.1 CADENA DE SUMINISTRO

La cadena de suministro es el nombre que se le otorga a la integración y coordinación de procesos interfuncionales de una organización en forma extendida que le permite colocar, en forma, cantidad, tiempo y lugar, productos y servicios demandados, desde su concepción hasta su consumo o utilización, mediante la utilización efectiva y eficiente de recursos e información con la finalidad de alcanzar objetivos de las partes interesadas (Stadtler y Kilger, 2005).

Chopra y Meindl (2010) definen cadena de suministro como todas las partes involucradas, directa o indirectamente en el cumplimiento de solicitud de cliente. Cadena de suministro incluye no solo manufactureros y proveedores, sino también, transportistas, almacenes, detallistas y e incluso los mismos clientes. Las actividades de cadena de suministro incluyen todas las actividades desde el pedido hasta la entrega de órdenes a clientes, siendo entre ellas y no limitadas, el desarrollo de nuevos productos, publicidad, operaciones, distribución, finanzas y servicio al cliente. Una cadena de suministro es dinámica e involucra un constante flujo bidireccional de información, materiales y/o productos y dinero (fondos) entre las diferentes etapas y entidades. El propósito principal de una cadena de suministro es satisfacer las

necesidades de los clientes y, en el proceso, generar rentabilidad para sí misma.

Si bien, anteriormente las organizaciones solían competir por entregar calidad y precio, hoy en día las cadenas de suministro compiten por flexibilidad y capacidad de respuesta (Anuar y Yusuff, 2011); la fuerza de la competitividad ha impulsado a las organizaciones a trabajar en conjunto, es decir, en alianza con proveedores, fabricantes, logísticos, clientes y en algunos casos con competidores, con la finalidad de distribuir valor al cliente, al costo más bajo y para alcanzar los objetivos. Las organizaciones intercambian información y conocimientos para fortalecer y desarrollar una cadena de suministro sólida e integrada (Awheda *et al.*, 2016).

### 2.1.1 ADMINISTRACIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO

APICS (2015) define la administración de cadena de suministro como el diseño, planeación, ejecución, control y monitoreo de las actividades de cadena de suministro con el objetivo de crear valor neto, construir ventaja competitiva, balancear la logística mundial, sincronizar el abastecimiento con la demanda y medir el desempeño global.

## 2.2 EL INVENTARIO

El inventario es un conjunto de bienes que se acopian para su futuro aprovechamiento, incluye cualquier artículo, producto o recurso utilizado en una organización (Chopra y Meindl, 2010). Dentro de un ambiente de manufactura, los inventarios comprenden además de, materia prima, producto en proceso y producto terminado, materiales, repuestos y accesorios, El inventario es requerido para soportar la producción, actividades de soporte y el servicio al cliente (APICS, 2015).

### 2.2.1 EL ROL DEL INVENTARIO EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Awheda *et al.* (2016) y Chopra y Meindl (2010) identifican el inventario como elemento clave en el desempeño de la cadena de suministro. Además del inventario, los habilitadores de desempeño de la cadena de suministro identificados por Chopra y Meindl (2010) son las facilidades, la transportación, la información, el abastecimiento y el precio. El nivel de inventario afecta directamente la disponibilidad de órdenes, su entrega y por lo tanto la satisfacción del cliente. Los inventarios proporcionan seguridad y permiten flexibilidad operativa, entendiéndose como flexibilidad a la capacidad de cambiar y reaccionar rápidamente a los cambios demandados por los clientes; son la base de una cadena de suministro integrada (Awheda *et al.*, 2016). Considerando además, la existencia inherente de fluctuaciones en el abastecimiento y la demanda, así como variaciones en su pronóstico, los inventarios son un elemento necesario para prevenir desabastecimiento (Rădăsanu, 2016). Los inventarios permiten a las organizaciones a operar con diferentes tasas y lotes de producción a través del canal de abastecimiento, producción y sistema de distribución (APICS, 2015).

### 2.2.2 INVENTARIO Y FLUJO DE MATERIALES

Mientras los materiales fluyen a través de los procesos de la cadena de suministro (abastecimiento, producción y distribución) son transformados en diferentes clases de inventario. Por lo tanto, el inventario puede ser clasificado de la siguiente forma de acuerdo a la etapa a través de la que fluye APICS (2015):

1. Materia prima. Son los materiales que se utilizan para producir y se obtienen por medio de compras a proveedores externos.
2. Inventario en proceso (WIP por sus siglas en inglés *Work in Process*). Es el inventario en proceso de transformación de la materia prima, para obtener subensambles y/o productos terminados.

3. Producto terminado. Son los productos que ya terminaron su proceso de fabricación y están listos para su distribución.
4. Inventario de distribución. Es el inventario de producto terminado que se encuentra almacenado en los centros de distribución listos para la entrega a clientes.

### 2.2.3 FUNCIONES DEL INVENTARIO

De acuerdo a APICS (2015) y Chopra y Meindl (2010), el inventario puede ser clasificado en diferentes formas de acuerdo a su función o propósito de servicio. La clasificación de inventario de acuerdo su función es la siguiente:

1. El inventario en tránsito es el inventario que se encuentra en la red de distribución, es decir, en medio de transferencia de un punto a otro.
2. El inventario de seguridad es el inventario cuya función es cubrir o proteger al sistema de fluctuaciones del suministro, la demanda y del tiempo de entrega. Su rol principal es prevenir o reducir la probabilidad de desabastecimiento balanceando el nivel de servicio deseado y los costos de mantener inventario. Es aquel inventario que se mantiene para satisfacer la demanda que excede la cantidad pronosticada para un periodo dado (Chopra y Meindl, 2008).
3. El inventario de desacoplamiento o *buffer*, es el inventario mantenido a propósito en diferentes puntos en el proceso de producción. El objetivo de los buffers es desconectar la tasa de consumo del producto de la tasa de su abastecimiento (APICS, 2015), normalmente aplicado en teoría de restricciones.
4. El inventario de anticipación o estacional es el inventario que se produce con anticipación ante eventos previstos como picos de demanda, temporalidades, promociones y paros de producción programados.

5. El inventario de ciclo o lote mínimo, es el inventario que se tiene que adquirir o manufacturar en tamaños de lote más grandes de lo requerido por diferentes razones, tales como: descuentos por volumen de compra, disminución de costos de producción por corridas largas, reducción de costos de embarque, manejo de material y ordenamiento.
6. El inventario de mantenimiento, reparación y operación (MRO) es el inventario necesario apoyar actividades requeridas en el proceso de producción. Estos productos no son parte del producto.
7. El inventario de cobertura es el utilizado para proteger el sistema de eventos que podrían no suceder. Involucran especulación sobre cambios climáticos, desastres naturales, eventos o cambios políticos, huelgas y cambio de precios y suministros.

#### 2.2.4 OBJETIVO DE LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIO

El objetivo de la administración de inventarios es determinar el valor y la mezcla de inventario adecuada que permita (1) entregar un alto nivel de servicio al cliente, (2) maximizar la eficiencia de producción e (3) incrementar el desempeño financiero de las empresas (Rădăsanu, 2016; APICS-dictionary, 2013). Es decir, el objetivo es equilibrarlo, de manera que su nivel no sea alto que represente altos costos o por el contrario, que sea muy poco que provoque desabastecimiento. De acuerdo a APICS (2015), la administración de cadena de suministro observa al inventario desde dos perspectivas, la primera, como empresa global que busca balancear y manejar el flujo de materiales a través de los procesos de transformación; y la segunda desde el punto de vista de cadena de suministro que busca balancear la afluencia de materiales de proveedores y la salida de materiales hacia clientes para alcanzar los objetivos estratégicos y financieros. La mayoría de los estudios relacionados a la administración de inventario, se enfocan en que su primer objetivo es minimizar el valor invertido

en inventario porque tiene un impacto directo en el retorno de activos. Sin embargo este enfoque no es totalmente correcto (Rădăsanu, 2016).

### 2.2.5 COSTOS DEL INVENTARIO EN LA CADENA DE SUMINISTRO

En la mayoría de las empresas el inventario significa altos costos, puede incluso representar hasta el 50 % de sus activos (Beheshti, 2010); y típicamente suelen representar entre tres y cinco meses de su consumo mensual (Stevens, 1989). Es decir, representan dinero inmovilizado que no se utiliza en otras inversiones para el crecimiento de la organización (Steele y Plunkett, 1994). De acuerdo a Hillier y Lieberman (2006), en Estados Unidos, el valor total de todos los inventarios excede el billón de dólares, lo que es equivalente a la existencia de inventario de \$5,000 dólares por cada persona en ese país. En cuanto al costo de mantener y almacenar inventario también es alto, puede representar hasta el 25 % del valor del inventario (Hillier y Lieberman, 2006).

Sin embargo, el no contar con inventario suficiente puede resultar en costos de escasez, tales como pérdida de ventas e incluso pérdida de clientes. La optimización de inventarios permite obtener ahorros y mejorar las vueltas de inventario. Empresas visionarias utilizan inventarios de seguridad como un arma competitiva para fortalecer su portafolio de producto (Rădăsanu, 2016). Es por esto, que las herramientas cuantitativas aplicadas en cadena de suministro han sido de gran utilidad en la administración de inventario, la falta de su utilización puede llevar a las organizaciones a la toma de decisiones incorrectas en cuanto a los inventarios que debe mantener y por lo tanto afectar significativamente su estado financiero.

## 2.3 ESTRUCTURA Y CONFIGURACIÓN DE PRODUCTO

En la literatura moderna, y con la finalidad de enfrentar los retos de la globalización, los avances tecnológicos y el incremento de la demanda de productos personalizados, Hernandez-Ruiz *et al.* (2016), Kristianto *et al.* (2010) y Persona *et al.* (2007), proponen un enfoque novedoso para la colocación estratégica de inventarios mediante la aplicación de módulo de componentes comunes en sistemas de producción modular (o modularidad). La aplicación de módulo de componentes comunes es el remplazo de dos o más componentes de un producto final por una parte común. Para la colocación y determinación del nivel de inventario de cada producto, los autores proponen el análisis de tres elementos claves, siendo estos elementos (1) la configuración del producto (BOM, por sus siglas en inglés *Bill of Materials*), (2) la identificación de componentes compartidos y (3) el análisis del diseño del proceso de manufactura. La aplicación de módulo de componentes comunes optimiza los niveles de inventario de seguridad, ya que toma como base los beneficios de inventarios agregados y la estandarización de componentes.

El concepto básico de la modularidad es que diseña o identifica módulos o componentes estandarizados con interfaces estándar de tal forma que pueden ser combinados en un alto número de productos finales. Un verdadero sistema de producción modular hace posible manufacturar productos personalizados y reaccionar rápidamente a las necesidades del cliente con las mismas características encontradas en un sistema de producción en masa. Uno de los principales beneficios de la modularidad es que conduce a la reducción de los niveles de inventario y puede ser aplicado tanto en ambientes de manufactura ensamble a la orden (ATO, por sus siglas en inglés *Assembly to Order*) como en ambientes hecho a la orden (MTO, por sus siglas en inglés *Make to Order*) (Hernandez-Ruiz *et al.*, 2016).

Su utilización demuestra que, mediante el aumento de módulos de componentes comunes los costos de operación y los niveles de inventario pueden ser reducidos,

ya que permite lotes más grandes de producción estandarizados. Por lo tanto, el nivel de inventario requerido disminuye en medida que el nivel de módulos aumenta, sin afectar el nivel de servicio de entrega al cliente. Las técnicas utilizadas en la aplicación de módulo de componentes comunes incluyen cálculo de inventario de seguridad (SS, por sus siglas en inglés *Safety Stock*), cálculo de ROP y análisis de inventarios iniciales y finales.

### 2.3.1 MATRIZ DE LISTA DE MATERIALES (BOM)

La matriz de lista de materiales es una herramienta que muestra las relaciones entre todos los componentes de una familia de productos y los productos principales o finales (Ptak y Smith, 2018; Bhardwaj, 2007). Es decir, es una tabla que ayuda a identificar en cuantos productos terminados existe la presencia de un mismo componente. En otras palabras, responde a la pregunta ¿en cuántos productos principales se repite un componente determinado?

De acuerdo con Ptak y Smith (2018), la matriz es utilizada para determinar en cuáles componentes del BOM de los productos principales es recomendable contar con inventario. Es decir, es una herramienta que facilita la toma de decisión sobre la selección de los componentes candidatos a contar con inventario planeado.

La matriz se presenta como una cuadrícula, en la parte superior o encabezado se enlistan los productos principales o productos terminados, mientras que en las filas se enlistan las materias primas y/o subensambles. En el cuerpo de la cuadrícula se identifican la intersecciones entre todos los componentes.

## 2.4 SISTEMAS DE MANUFACTURA

La determinación del nivel de inventario y su localización en un sistema de manufactura y abastecimiento influyen en la flexibilidad y en el nivel del servicio al cliente de las empresas (Persona *et al.*, 2007). Por ello, es importante conocer y entender el sistema de manufactura adoptado para cada organización antes de la toma de decisiones estratégicas, específicamente sobre la inversión en inventarios.

### 2.4.1 TIPOS DE SISTEMAS O AMBIENTES DE MANUFACTURA

APICS (2015) describe la existencia de cinco ambientes o sistemas básicos de manufactura los cuales son descritos en la tabla 2.1.

### 2.4.2 DETERMINANTES DE LOS AMBIENTES DE MANUFACTURA

Los ambientes de manufactura son influenciados principalmente por cuatro características principales (APICS, 2015) descritos en la tabla 2.2.

1. Tiempo de entrega. La figura 2.1 definida por APICS (2015) muestra la relación de los ambientes de manufactura con el tiempo de entrega esperado de cada uno de ellos. Se puede apreciar que los productos fabricados en un ambiente ETO son los de tiempo de entrega más largos, mientras que los fabricados en un ambiente MTS son los tiempo de entrega más corto. Por otro lado, a medida que el inventario es colocado en puntos intermedios dentro del sistema, los tiempos de entrega se reducen.
2. Volumen y variedad de producto. Los ambientes de manufactura son influenciados por el volumen y variedad de productos, por ello APICS (2015) propone la estrategia de manufactura de acuerdo a estas dos variables. Ver tabla 2.3.

Tabla 2.1: Descripción de los ambientes de manufactura.

Ambiente de manufactura	Descripción
ETO Ingeniería a la orden (por sus siglas en inglés <i>Engineering to Order</i> )	Los productos requieren diseños de ingeniería únicos con base en las especificaciones del cliente. Generalmente dos productos no son iguales.
MTO Fabricación a la orden (por sus siglas en inglés <i>Make to Order</i> )	El producto es fabricado hasta que se recibe la orden. Su producción comienza normalmente a partir de la materia prima.
ATO Ensamble a la orden (por siglas en inglés <i>Assembly to Order</i> )	Los productos requieren diseños de ingeniería únicos con base en las especificaciones del cliente. Generalmente dos productos no son iguales.
MTS Fabricación a inventario (por sus siglas en inglés <i>Make to Stock</i> )	El fabricante produce producto para inventario y lo vende desde el inventario de producto terminado.
Personalización en masa	El producto es hecho en muchas y diferentes configuraciones desde subensambles en inventario pero es rápidamente ensamblado.

El gráfico 2.2 muestra en forma general la relación de cada ambiente de manufactura con el volumen y variedad de producto APICS (2015) y por lo tanto la estrategia de producción recomendada de acuerdo al comportamiento de estas dos variables.

3. Ciclo de vida de producto Finalmente, la cuarta característica que influye en el sistema de manufactura, y por lo tanto en la planeación de los niveles de inventario, es el ciclo de vida del producto. Los productos, normalmente pasan por cinco etapas durante su ciclo de vida: (1) introducción, en esta etapa los productos son diseñados e introducidos al mercado y los costos relacionados a su producción son altos; (2) crecimiento, a medida en que el producto es aceptado en el mercado, en esta etapa el volumen de ventas y producción crecen y por lo tanto el costo de producción disminuye; (3) madurez, en esta

Tabla 2.2: Factores determinantes de los ambientes de manufactura.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tiempo de entrega	Expectativa de los clientes en el tiempo de entrega del producto.
Diseño del producto	Grado de diseño del producto requerido después de recibir la orden, tendrá efecto en el tiempo de entrega.
Volumen y variedad del producto	Volumen y variedad de producción jugarán un rol significativo en la elección del ambiente de manufactura y elección de proceso.
Tiempo de vida del producto	El ambiente de manufactura apropiado para un producto podrá cambiar de acuerdo a la evolución del ciclo de vida.

etapa el producto alcanza estabilidad y está bien posicionado en el mercado; (4) decline, en esta etapa el volumen de ventas y ganancias se reduce y por lo tanto las empresas deben introducir nuevos productos o mejorar los procesos de producción para reducir costos; y finalmente en la etapa de (5) salida, el producto es retirado del mercado y la publicidad y promociones terminan. Por lo anterior, APICS (2015) propone la estrategia de manufactura a tomar de acuerdo a la etapa del ciclo de vida en la que el producto se encuentre. Ver gráfico 2.3.

### 2.4.3 RELACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA Y LA ESTRUCTURA DE PRODUCTO CON LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

La determinación del nivel de inventario y su localización en un sistema de manufactura y abastecimiento influyen en la flexibilidad y en el nivel del servicio

ETO tiempo de entrega					Ingeniería a la orden
Diseño	Compra	Manufactura	Ensamble	Embarque	
	MTO tiempo de entrega				Fabricación a la orden
	Inventario	Manufactura	Ensamble	Embarque	
			ATO tiempo de entrega		Ensamble a la orden
	Manufactura	Inventario	Ensamble	Embarque	
				MTS tiempo de entrega	Fabricación a inventario
	Manufactura	Ensamble	Inventario	Embarque	

Figura 2.1: Sistemas de manufactura y tiempos de entrega. Adaptado de APICS (2015).

al cliente de las empresas, es decir, influyen en su habilidad para lidiar con las fluctuaciones de producción y de abastecimiento y por lo tanto con su administración del costo. Los inventarios de seguridad son una herramienta efectiva de administración que protege a las organizaciones ante la incertidumbre y la variabilidad de la demanda y de todos los factores que afectan el desempeño de una cadena de suministro. Al mismo tiempo, este instrumento puede mejorar el nivel de servicio al cliente y reducir la inestabilidad de la planeación y programación de la producción (Persona *et al.*, 2007).

La estructura del producto y el sistema de manufactura tienen un impacto significativo en la determinación en el nivel de los inventarios de seguridad. La literatura presentada por Persona *et al.* (2007) identifica tres enfoques principales para la determinación del mejor nivel de inventario de seguridad: el primero es basado en la variación de la demanda, el segundo en la variación del error en los pronósticos, y el tercero está basado en la estructura de producto y la estandarización de productos y componentes. En el primer enfoque se asume que la demanda de los productos tiene una distribución normal y el nivel de inventario de seguridad esta correlacionado con

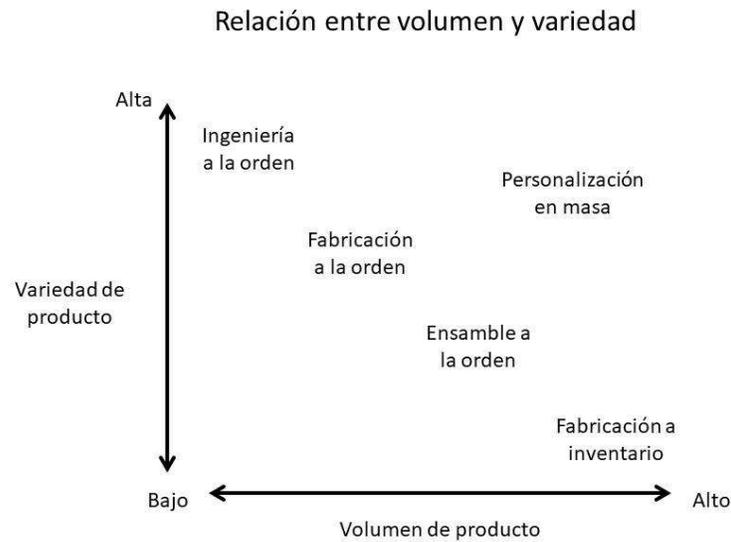


Figura 2.2: Relación entre volumen y variedad de producto. Adaptado de APICS (2015).

el nivel de los puntos de re-orden. El segundo enfoque está basado en la suposición de que los niveles de inventario de seguridad son proporcionales al error del pronóstico y pueden ser aplicados en escenarios donde la demanda es fácilmente prevista; aunque también puede ser aplicado cuando la demanda es altamente variable. El tercer enfoque para la determinación del inventario de seguridad considera el impacto de la estructura de producto y el nivel de la estandarización de componente. De hecho, cuando existe una amplia variedad de productos, pronosticar a nivel subensamble o módulos puede reducir el tiempo de producción de los productos finales y mejorar el nivel de servicio al cliente. La determinación del correcto nivel de inventario para módulos pre-ensamblados es un problema estratégico en ambientes de manufactura ATO.

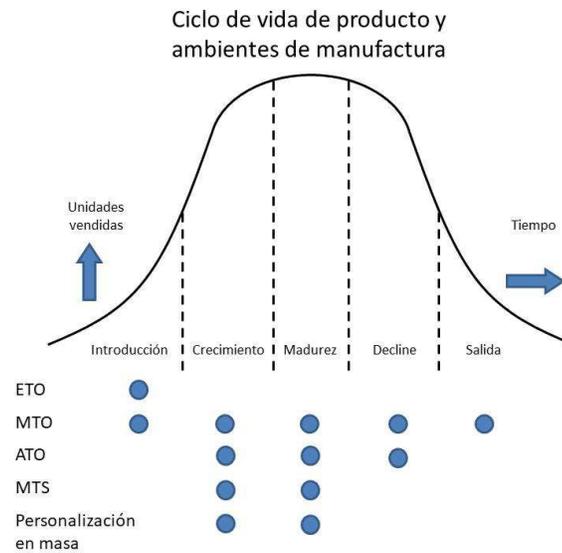


Figura 2.3: Ciclo de vida de producto y ambientes de manufactura. Adaptado de APICS (2015).

## 2.5 PUNTOS DE DESACOPLAMIENTO

La estrategia de producción adoptada en respuesta a la demanda del cliente determina la localización de los inventarios a lo largo de la cadena en un sistema logístico; por lo tanto, los inventarios deben ser localizados en los puntos en donde la actividad de la demanda del mercado comienza a afectar la administración de materiales (Persona *et al.*, 2007). Las localizaciones en la estructura de producto o red de distribución en donde el inventario es localizado para crear independencia entre procesos o entidades son denominados puntos de desacoplamiento (DP por sus siglas en inglés *decoupling points*), (APICS-dictionary, 2013; Kristianto *et al.*, 2010). La selección de los puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina el tiempo de entrega a cliente y la inversión de inventario (APICS-dictionary, 2013).

En ambientes de manufactura ETO el punto de desacoplamiento existe en la materia prima con los proveedores. En ambientes de manufactura MTO el punto de desacoplamiento existe en la materia prima ya adquirida. En ambientes de

manufactura ATO el punto de desacoplamiento existe en los niveles intermedios o subensambles. Y en ambientes de manufactura MTS el punto de desacoplamiento existe en el producto terminado. Por lo anterior, se define como inventario de desacoplamiento o *buffer* a la cantidad de inventario mantenida entre entidades en una red de manufactura o distribución para crear independencia entre los procesos o entidades. El objetivo de los inventarios desacoplados es desconectar la tasa de consumo del producto de la tasa de su abastecimiento (APICS-dictionary, 2013).

## 2.6 ANÁLISIS ABC

Dentro de la literatura tradicional, Rădăsanu (2016), Bertolini y Rizzi (2002), y Steele y Plunkett (1994) utilizan como primer paso en la determinación de nivel de inventarios la clasificación ABC mediante el análisis de Pareto. El análisis que realizan está basado en el estudio realizado por el economista Wilfredo Pareto sobre la distribución de los ingresos. El estudio de Pareto identifica que un gran porcentaje de los ingresos estaba concentrado en un pequeño porcentaje de la población; el principio de la ley de Pareto establece que hay unos pocos valores críticos y muchos insignificantes y que los recursos deben concentrarse en los valores críticos y no en los insignificantes. Bajo este supuesto, el análisis ABC permite la clasificación de productos de acuerdo a variables críticas, y de acuerdo a ellas, se puede determinar el nivel de servicio esperado para cada categoría. Las variables a considerar para una clasificación ABC pueden ser diversas, siendo las más comunes el volumen de venta, las ventas anuales, los tiempos de entrega, los clientes a satisfacer, entre otros. Rădăsanu (2016) propone que los artículos A, es decir, el 20% de los productos con más valor del portafolio deben ser clasificados como críticos con un alto nivel de servicio de 96-98%; los artículos B, es decir, los siguientes 20-30% deben ser clasificados como intermedios, con un medio nivel de servicio de entre 91-95%; y finalmente, los artículos C, el resto 50-60% deben ser clasificados como triviales con un bajo nivel de servicio de entre 85-90%. Una vez que se cuenta con la clasificación

ABC, los puntos de reorden, el tamaño de lote económico y el nivel de inventario son calculados.

Los tres autores enfatizan la necesidad de inventarios en la cantidad correcta y en el lugar correcto, no solo a niveles bajos; concluyen que los inventarios deben existir por las siguientes razones: (1) la demanda de los clientes es variable, (2) existen errores en el pronóstico de la demanda, y para alcanzar un alto nivel de servicio, los inventarios deben ser mantenidos para absorber esa variabilidad; (3) existe variación en los tiempos de entrega de producción a distribución y desde cualquier punto de almacenamiento de la cadena hacia los canales de distribución, mientras más amplio el canal, mayor probabilidad de variación en entregas. A su vez, identifican que el inventario debe existir en diferentes formas, dependiendo del tipo de producto y de la industria, no solo en materia prima o producto terminado, sino en un nivel intermedio. Finalmente, sugieren que las empresas deben hacer constantes actualizaciones y ajustes en sus políticas de inventario de seguridad, de manera que las variables no controladas como la demanda, no impacten en el tiempo en excesos o escasez de los mismos.

## 2.7 INVENTARIO DE SEGURIDAD EN CASOS DE APLICACIÓN

Una de las herramientas mayormente utilizadas para la determinación de nivel de inventario, y con el objetivo de mejorar el nivel de servicio de las organizaciones, es el inventario de seguridad. El inventario de seguridad se define como la cantidad de inventario que se tiene que mantener para proteger al sistema de los elementos que afectan el entorno de la organización, principalmente de la variabilidad de la demanda y del suministro (APICS, 2015; Chopra y Meindl, 2010). Hernandez-Ruiz *et al.* (2016), Kristianto *et al.* (2010), Persona *et al.* (2007), Talluri *et al.* (2004), Duffy (2004) y Bertolini y Rizzi (2002) incorporan el cálculo de inventarios de segu-

ridad en la aplicación de sus modelos matemáticos para la determinación del nivel de inventario en diferentes sectores industriales, tales como el farmacéutico, el alimenticio, de manufactura de aires acondicionados, muebles de oficina, manufactura de productos de consumo, el servicio de restauración profesional, tanto en sistemas de manufactura ATO como en sistemas de manufactura MTS. El resultado de la aplicación de sus modelos demuestran los siguientes beneficios: (1) incrementar la salida de producción, (2) reducir los niveles de inventarios, (3) reducir las ordenes de cliente en espera y (4) mejorar el nivel de servicio.

Los casos de estudio de Duffy (2004) y Talluri *et al.* (2004), coinciden en que los métodos utilizados por los planeadores para determinar los niveles de inventario de seguridad eran basados en la experiencia con una baja frecuencia de revisión y actualización, y no a través de la utilización de herramientas cuantitativas con revisiones frecuentes. Mediante el establecimiento de un proceso de planeación de inventarios, entrenamiento y entendimiento de herramientas científicas para el cálculo de inventarios de seguridad y el análisis continuo de los impulsores clave de mejora de administración de inventario, lograron utilizar el inventario inteligentemente para amortiguar la variabilidad de la demanda y el suministro. Los impulsores clave de mejora de administración de inventario son: la introducción de nuevos productos, la flexibilidad de proveedores (consignación), el cumplimiento al plan de producción, el proceso de entrada y salida de productos, el tamaño de lote, la veracidad del pronóstico, el tiempo de abastecimiento, la flexibilidad de manufactura y la red de suministro. Siendo la veracidad del pronóstico y el tiempo de abastecimiento los relacionados directamente con el inventario de seguridad. Los parámetros básicos considerados en el proceso de planeación de inventarios son la demanda promedio, la desviación media absoluta, el mínimo, máximo e inventario promedio y el nivel de servicio por tipo de producto. Sus estudios incluyen recomendaciones para administrar inventarios mediante políticas estratégicas y operacionales, las cuales serán consideradas posteriormente.

## 2.8 DISTRIBUCIÓN NORMAL Y PRUEBAS DE NORMALIDAD

Un elemento importante y clave en los estudios anteriores es la definición de la función de la probabilidad, en este caso, de la demanda. Tradicionalmente se asume que la forma de la distribución de la demanda sigue una distribución normal. De acuerdo a Brereton (2014), la distribución normal es una distribución en forma de campana donde las desviaciones estándar respecto a la media establecen rangos de referencia para estimar el porcentaje de observaciones de los datos. Una distribución normal está caracterizada por tres elementos:

1. Media. La media es el centro de la distribución o de la campana, es el promedio del valor de los datos.
2. Área. El área dentro de la campana cuyo valor tiende a 1.
3. Ancho. El ancho es representado por las desviaciones estándar a partir de la media.

La distribución normal describe un conjunto de datos donde la mayoría de los valores se encuentran cerca de la media (o valor promedio), y otra menor cantidad de datos existe en los extremos de la campana, a mayor distancia de la media (Rădăsanu, 2016). En una distribución normal, se observa el siguiente comportamiento de los datos:

- El 68.26 % de los datos se encuentran alrededor de la media y una distancia máxima de una desviación estándar con respecto a la media.
- El 95.45 % de los datos se encuentran a una distancia máxima de dos desviaciones estándar con respecto a la media.

- El 99.73% de los datos se encuentra a una distancia máxima de tres desviaciones estándar con respecto a la media.

Para determinar si los datos de un conjunto de variables son normales, es necesario realizar algún tipo de prueba de normalidad a la muestra. Algunas de las pruebas de normalidad más comunes son la de Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, D'Angostino Pearson, Jarqua-Vera (Öztuna *et al.*, 2006).

## 2.9 POLÍTICAS DE ABASTECIMIENTO

Una política de abastecimiento determina decisiones respecto a cuándo y cuánto reordenar. Por lo tanto, estas decisiones determinan el nivel de inventario promedio y el nivel de inventario de seguridad en conjunto con el nivel del servicio. Existen dos tipos de políticas de abastecimiento, política de revisión continua y política de revisión periódica (Chopra y Meindl, 2008).

En la política de revisión continua, el inventario se vigila continuamente y el pedido de un tamaño de lote  $Q$  se coloca cuando el inventario desciende hasta el punto de reorden (ROP *reorder point* por sus siglas en inglés). Es decir, el tamaño del pedido no cambia de un pedido al siguiente, mientras que el tiempo entre los pedidos puede fluctuar dada la demanda variable.

En la política de revisión periódica, el inventario es vigilado en intervalos regulares periódicos y el pedido se coloca para incrementar el nivel del inventario a un límite específico. Es decir, el tiempo entre los pedidos es fijo, mientras el tamaño de cada pedido puede fluctuar dada la demanda variable.

En resumen, la tabla 2.4 muestra la relación entre las políticas de abastecimiento y sus principales variables, tamaño de pedido y tiempo entre pedidos.

De igual manera, los modelos de inventario también tienen dos clasificaciones

principales que dependen de la información de demanda con la que se cuente. Cuando la demanda es conocida, se usa un modelo de inventario determinístico. Cuando la demanda no se puede predecir con exactitud, se debe utilizar un modelo de inventario estocástico, en el cual la demanda de cualquier periodo es aleatoria en lugar de una constante conocida (Hillier y Lieberman, 2006). La tabla 2.5 presenta un ejemplo de los modelos de inventario propuestos por APICS (2015), Chopra y Meindl (2008), Hillier y Lieberman (2006), de acuerdo a las características de cada modelo de inventario.

## 2.10 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Por lo anterior, el presente trabajo pretende mejorar el control de inventarios en el caso de estudio mediante el establecimiento estratégico de inventarios de seguridad para disminuir desabastos de materiales a través de la utilización de herramientas y técnicas cuantitativas previamente descritas. Las herramientas a utilizar son: el análisis de estructura y configuración de producto o BOM mediante la matriz de lista de materiales; análisis de agrupamiento de módulos o subensambles con componentes repetidos que compartan el mismo proceso de producción; clasificación ABC mediante el análisis de Pareto; y finalmente, cálculo de inventarios de seguridad y ROP.

Tabla 2.3: Relación de volumen y variedad de producto con los ambientes de manufactura. Adaptado de APICS (2015).

<b>Ambiente de manufactura</b>	<b>Volumen</b>	<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>
ETO	Bajo	Alta	Estos productos generalmente son únicos.
MTO	Bajo-medio	Media-alta	El volumen y la variedad no justifica producir en adelantado.
ATO	Medio-alto	Baja-media	El volumen y variedad permite (1) fabricar subensambles por adelantado y (2) ensamblarlos cuando la orden es recibida con el objetivo de reducir el tiempo de entrega.
MTS	Alto	Baja	El volumen es alto en ventas con baja variedad que permite fabricarlos a inventario antes de que la orden sea recibida.
Personalización en masa	Alto	Alta	El volumen es alto a nivel familia con alta variedad a nivel producto. Algunos productos pueden requerir diseño de producto para entregar la orden. El sistema requiere trabajadores con habilidades y flexibilidad altas. Los tiempos de entrega pueden ser mayores que en ambiente de manufactura ATO.

Tabla 2.4: Tipos de políticas de abastecimiento de inventario.

<b>Política de abastecimiento</b>	<b>Tamaño de lote (<math>Q</math>)</b>	<b>Tiempo entre pedidos</b>	<b>Determina cuando ordenar</b>
Revisión continua	Fijo	Fluctuante	ROP
Revisión periódica	Fluctuante	Fijo	Periodo

Tabla 2.5: Modelos de inventario y abastecimiento.

<b>Política de inventario</b>	<b>Modelo de inventario y abastecimiento</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Sugiere usar SS</b>
Modelos basados en EOQ	Determinístico con revisión continua	Determinar cantidad y frecuencia	Si
Algoritmo Wagner-Whitin	Determinístico con revisión periódica	Minimizar el costo total durante los periodos	No
Modelo $r, Q$ , modelo $s, S$	Estocástico con revisión continua	Determinar el punto $r$ (ROP) para ordenar la cantidad $Q$	Si
Modelo $R, S$	Estocástico con revisión periódica	Determinar el nivel de inventario $S$ que se puede tener en el periodo $R$ antes de que no se pueda vender	Si

## CAPÍTULO 3

# METODOLOGÍA

---

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado en tres etapas principales, las cuales se describen en las secciones del presente capítulo.

La implementación de esta metodología se describe en el capítulo consiguiente.

### 3.1 ETAPA 1: DELIMITACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La primera etapa consiste en identificar el problema, delimitarlo e investigar bibliografía para buscar herramientas que se hayan utilizado en la solución de problemas similares. Para este proyecto se consultó bibliografía relacionada a los siguientes temas:

1. Cadena de suministro y su administración. El concepto de cadena de suministro ayuda a obtener una visión global de lo que es, su alcance, sus participantes y su interrelación dentro de ella.
2. El inventario, su rol, tipos, funciones y costos. El concepto de inventario ayuda a entender lo que es, y el papel que juega dentro de la cadena de suministro.

Los tipos de inventario ayudan a entender el proceso de transformación de los productos a través del flujo dentro de la cadena, y por lo tanto, para que son utilizados, es decir cual es la función y propósito de cada tipo. Finalmente, los costos relacionados al inventario ayudan a entender que, aunque el inventario es un elemento esencial dentro de la cadena que afecta su desempeño, su falta de control tiene consecuencias financieras negativas.

3. Estructura de producto y su relación con el inventario. Esta sección describe cómo es que la estructura de producto es uno de los elementos que deben analizarse para determinar la colocación de inventario. La colocación de inventario es una decisión estratégica que debe considerar la aplicación de módulo de componentes comunes, es decir, el remplazo de dos o más componentes de un producto final por una parte común. Hernandez-Ruiz *et al.* (2016), Kristianto *et al.* (2010) y Persona *et al.* (2007), proponen además del análisis del BOM, la identificación de componentes compartidos y el análisis del diseño del proceso de manufactura.
4. Sistemas de manufactura y su relación con la administración de inventarios. Esta sección describe cómo es que el sistema de manufactura es uno de los elementos que deben analizarse para determinar la colocación de inventario, ya que afecta el nivel de inventario y su localización dentro del sistema. Es decir, el sistema de manufactura tiene influencia en la flexibilidad y en el nivel del servicio al cliente de las empresas (Persona *et al.*, 2007). Por esto es importante conocer y entender el sistema de manufactura adoptado para cada organización antes de la toma de una decisión estratégica como lo es la inversión en inventario.
5. Puntos de desacoplamiento. Esta sección describe cómo la selección estratégica de puntos de desacoplamiento es sumamente importante para la colocación de inventario. Los puntos de desacoplamiento son las localizaciones en la estructura de producto o red de distribución en donde el inventario es localizado para crear independencia entre procesos o entidades (APICS-dictionary, 2013;

Kristianto *et al.*, 2010). La estrategia de producción adoptada en respuesta a la demanda del cliente determina la localización de los inventarios a lo largo de la cadena en un sistema logístico; por lo tanto, los inventarios deben ser localizados en los puntos en donde la actividad de la demanda del mercado comienza a afectar la administración de materiales (Persona *et al.*, 2007).

6. Análisis ABC. Esta sección describe la utilización de una de las herramientas comúnmente utilizada en resolución de establecimiento de inventarios, la clasificación ABC.
7. Utilización de inventarios de seguridad en casos de aplicación. En esta sección se describe cómo el inventario de seguridad puede ayudar a la cadena de suministro a mejorar la disponibilidad del producto en presencia de variabilidad de la oferta y la demanda (Chopra y Meindl, 2008). Tiene el objetivo de demostrar que es una herramienta que ayuda a mejorar el desempeño de las organizaciones en términos de servicio al cliente.
8. Políticas de abastecimiento. Esta sección describe las políticas de inventario que se recomiendan utilizar para su control de acuerdo a las características de la demanda y su monitoreo. Muestra la relación entre los periodos de revisiones, tamaños de lote y el conocimiento de la demanda.

Los resultados de la etapa 1, sobre la investigación de la bibliografía se pueden leer en el capítulo de antecedentes.

## 3.2 ETAPA 2: SELECCIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

La segunda etapa consiste en seleccionar y desarrollar las herramientas de solución al caso de estudio que se consideren resuelvan las necesidades del problema

aquí planteado. Para este proyecto fueron seleccionados los siguientes elementos y herramientas:

1. Análisis de estructura de producto. Se va a realizar un análisis de estructura de producto que permita identificar componentes comunes dentro de la familia de producto. Es decir, se busca identificar aquellos componentes que sean requeridos en múltiples productos terminados. Estos componentes comunes son los candidatos a contar con inventario de seguridad.
2. Análisis de sistemas de manufactura. Una vez que se identifiquen los componentes comunes, se deben identificar aquellos que comparten el mismo proceso de manufactura para poder reemplazar 2 componentes o más por una parte común. Este paso es relevante para las organizaciones que no tienen definida una base de subensambles intermedia previa al producto terminado.
3. Puntos de desacoplamiento. Se debe analizar el sistema de producción de la organización para seleccionar los puntos en donde se debe colocar el inventario. En ambientes de manufactura ETO el punto de desacoplamiento existe en la materia prima con los proveedores. En ambientes de manufactura MTO el punto de desacoplamiento existe en la materia prima ya adquirida. En ambientes de manufactura ATO el punto de desacoplamiento existe en los niveles intermedios o subensambles. Y en ambientes de manufactura MTS el punto de desacoplamiento existe en el producto terminado.
4. Clasificación ABC. Al contar con la selección de productos a mantener en inventario, se debe realizar una clasificación ABC para seleccionar el nivel de servicio de cada tipo de producto y por lo tanto para determinar el nivel de inventario. Es importante mencionar que la clasificación ABC se puede realizar en dos o más dimensiones, dependiendo del número de variables clave en las que se quieran o necesiten clasificar los productos. Las dimensiones consecuentes pueden llevar diferente nomenclatura pudiéndose utilizar otras letras del abecedario, como por ejemplo XYZ.

5. Selección de modelo de inventario. Se debe comprobar el tipo de modelo de inventario sugerido de acuerdo a la muestra de los datos, así como la normalidad de los mismos. Para ello, se debe obtener el coeficiente de variabilidad de la prueba de Silver y Peterson (1985). En cuanto a la normalidad, se va utilizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk de acuerdo a (Öztuna *et al.*, 2006).
6. Inventario de seguridad. Se debe calcular el inventario de seguridad que es la cantidad que debe existir en inventario para cada producto. Existen diferentes métodos para calcular el inventario de seguridad, pero el seleccionado para el caso de estudio es el cálculo del inventario de seguridad dado un nivel de servicio de ciclo o tasa de surtido deseado propuesto por Rădăsanu (2016), APICS (2015) y Chopra y Meindl (2008). La fórmula que se utiliza para calcular el inventario de seguridad bajo esta política es la (3.1):

$$SS = \sqrt{L} \sigma_D \times \Phi_{\mu\sigma}^{-1}(N) \quad (3.1)$$

donde  $SS$  es el inventario de seguridad requerido,  $L$  es el número de periodos necesarios para entregar,  $\sigma_D$  es la desviación estándar de la demanda,  $N$  es el nivel de servicio,  $\Phi_{\mu\sigma}^{-1}$  es la función normal inversa con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ .

7. Punto de reorden. Finalmente, se debe calcular el punto de reorden, es decir, el punto al que el nivel de inventario desciende y en el que se debe ordenar y/o colocar un nuevo pedido para satisfacer la demanda. La fórmula utilizada por APICS (2015) y Chopra y Meindl (2008) para calcular el ROP es la (3.2):

$$ROP = D \cdot L - SS \quad (3.2)$$

donde  $ROP$  es el punto de reorden,  $D$  es la demanda promedio,  $L$  es el número de periodos necesarios para entregar y  $SS$  es el inventario de seguridad requerido.

De acuerdo a lo encontrado durante la etapa de revisión de la literatura, se proponen los siguientes pasos para la solución del caso de estudio:

1. Obtener datos de iníciales de entrada: demanda, productos, BOM, rutas de proceso, costo y tiempos de entrega y/o fabricación de la familia de productos.
2. Analizar la estructura de producto, es decir, identificar aquellos componentes que sean requeridos en múltiples productos terminados. Esto mediante la utilización de la matriz de BOM que permite identificar la relación de cada componente con múltiple productos terminados.
3. Analizar el sistema de manufactura. Una vez que se identifiquen los componentes comunes, se deben identificar aquellos que comparten el mismo proceso de manufactura para poder reemplazar 2 componentes o más por una parte común. Este paso es relevante para las organizaciones que no tienen definida una base de subensambles intermedia previa al producto terminado. Estos componentes comunes son los candidatos a contar con inventario de seguridad.
4. Realizar una clasificación ABC, para materia prima y productos manufacturados. Esto por separado para cada tipo de producto. Los pasos principales que deben cubrir son los siguientes:
  - a) Calcular parámetros iníciales, siendo éstos la demanda promedio y desviación estándar de cada producto.
  - b) Seleccionar las variables para la clasificación ABC. En el caso de estudio es necesario realizar la clasificación ABC en dos dimensiones, esto derivado de la cantidad de variables identificadas como críticas para cada producto. Las variables a considerar para la clasificación de los productos de materia prima son demanda y tiempo de entrega, mientras que las variables a considerar para la clasificación de los productos manufacturados son solo demanda y costo. La selección de variables para los productos manufacturados no considera el tiempo de fabricación debido a que el

- tiende a ser el mismo para todos los productos de la familia. En caso de que no fuese así, también es una variable que se debe considerar.
- c) Definir rangos para cada categoría ABC. Para el volumen de demanda de los dos tipos de producto se aplica la Ley de Pareto de forma directa, mientras que para las variables tiempo de entrega y costo se deben evaluar los valores y sus repeticiones para determinarlos.
  - d) Seleccionar el nivel de servicio deseado para cada producto de acuerdo al resultado de la clasificación ABC.
5. Calcular inventario de seguridad. Antes de iniciar con los cálculos principales, es de suma importancia comprobar el modelo de inventario recomendado de acuerdo a la muestra de los datos, así como la normalidad de los datos. Los pasos principales que se deben cubrir son los siguientes:
- a) Realizar prueba de variabilidad de la demanda de acuerdo a Silver y Peterson (1985). Esta prueba es necesaria para comprobar la estabilidad de los datos y seleccionar el modelo de inventario recomendado. En caso de que los datos no pasen la prueba de estabilidad mediante el resultado del coeficiente de variabilidad ( $COV_i=0.2$ ) es necesario realizar la prueba indicada en el inciso b).
  - b) Determinar la distribución de la demanda de los productos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk de acuerdo a (Öztuna *et al.*, 2006).
  - c) Calcular el inventario de seguridad para cada producto.
  - d) Calcular el punto de reorden para cada producto.

### 3.3 ETAPA 3: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Finalmente, la tercera etapa incluye implementar las herramientas seleccionadas, analizar resultados y redactar un informe técnico.

Los resultados de la implementación serán medidos con el porcentaje de órdenes satisfechas de tal manera que si el porcentaje de órdenes a satisfacer no es alcanzado se cuenta como una incidencia. Una incidencia es el número de piezas faltantes que no satisfacen la demanda. No es determinada por la cantidad de eventos ni por el tiempo que cada pieza estuvo faltante.

De esta etapa se esperan resultados que demuestren una reducción en el desabastecimiento de materiales en los procesos de manufactura y por consecuencia mejora en la entrega de órdenes. Esto gracias a el establecimiento estratégico de inventarios y la utilización de métodos de inventario como lo es el inventario de seguridad y punto de reorden.

## CAPÍTULO 4

# IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

El presente capítulo documenta el proceso de implementación de la metodología descrita en el capítulo 3.

### 4.1 ETAPA 1: DELIMITACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El primer paso de la etapa 1 fue identificar el problema y delimitarlo. Para identificar el problema, se revisaron los resultados de los indicadores clave de desempeño de la empresa, para este caso, el indicador de entregas a cliente. El resultado de las entregas de órdenes a clientes a tiempo fue del 30%. Una vez que se obtuvieron los resultados, se generó un diagrama de pastel (se puede utilizar también un histograma) para identificar las causas principales que generaron el resultado del indicador clave; se identificaron tres causas principales que generaron el 80% del bajo desempeño de entregas, siendo éstas: disponibilidad de materia prima, representando ésta un 42% de las causas, capacidad no disponible, representando ésta un 25% de las causas, y disponibilidad de material fabricado, representando ésta un 13% de las causas. Ya que se identificaron las causas principales del problema, se realizó un análisis de causa raíz para las causas con mayor impacto, esto mediante el

método de los cinco porqués para determinar la causa raíz del problema; el resultado indicó que la planeación de materiales era realizada con base en la experiencia de las personas, y no contaban con un estándar para realizarlo. Al mismo tiempo, se identificó que el sistema de planeación no estaba protegido ante las variaciones en la demanda como en el suministro. Por lo anterior, se decidió realizar este trabajo de tesis.

El siguiente paso consistió en revisar bibliografía para buscar herramientas que se hayan utilizado en la solución de problemas similares. La bibliografía que se consultó estuvo relacionada a los siguientes temas:

1. Cadena de suministro y su administración.
2. El inventario, su rol, tipos, funciones y costos.
3. Estructura de producto y su relación con el inventario.
4. Sistemas de manufactura y su relación con la administración de inventarios.
5. Puntos de desacoplamiento.
6. Análisis ABC.
7. Utilización de inventarios de seguridad en casos de aplicación.
8. Políticas de abastecimiento.

La búsqueda de la información se realizó en bases de datos académicas con publicaciones avaladas por diferentes organizaciones y revistas, tales como la de Conricyt, base de datos de la Universidad Autónoma de Nuevo León y Google Scholar. Las palabras clave que se utilizaron fueron las siguientes: control de inventario, cadena de suministro, abastecimiento estratégico, inventario de seguridad.

Los resultados de la etapa 1 de esta metodología se pueden observar en el capítulo 2 de esta tesis.

## 4.2 ETAPA 2: SELECCIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

Previo a iniciar con el primer paso, fue necesario obtener información de entrada básica. La información que se obtuvo para el desarrollo de la implementación fue la siguiente:

1. Productos. Lista de los productos bajo estudio con características similares, normalmente forman parte de una familia de productos o son parte de un mismo segmento (industrial o de mercado) usualmente conocido en la práctica como *commodity*.
2. Lista de materiales. Lista de materiales y componentes que son necesarios para la fabricación de los productos. Deben incluir la cantidad requerida de cada componente para construir el producto. Pueden ser tanto materiales directos como indirectos. Y la naturaleza de cada componente puede ser tanto de compra a proveedores externos como de fabricación interna, dependiendo de la configuración de cada producto.
3. Rutas. Información detallada del método de manufactura de cada producto. Deben incluir las operaciones que deben ser realizadas, su secuencia y el estándar de tiempos en los que deben ser llevadas a cabo.
4. Demanda. Cantidad de piezas demandada por los clientes para cada producto. Es necesario considerar órdenes colocadas así como el pronóstico de la demanda.
5. Tiempo de entrega. Tiempo requerido para entregar un producto desde que se ordena hasta que se entrega. El tiempo de entrega debe incluir el tiempo de reconocimiento de la orden, tiempo de procesamiento o fabricación, tiempo de transportación o distribución, tiempo de recibo y tiempo de inspección.

#### 6. Costo. Valor monetario de cada producto.

Una vez que se obtuvo la información anterior, se realizaron los pasos a continuación descritos.

### 4.2.1 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE PRODUCTO O LISTA DE MATERIALES

El primer paso consistió en realizar un análisis de estructura de producto o lista de materiales para identificar componentes comunes dentro de la familia de producto. El objetivo es identificar aquellos componentes que sean requeridos en múltiples padres. Un padre se refiere a un producto que es fabricado de uno o más componentes o subensambles. Para identificar los componentes comunes fue necesario utilizar la matriz de lista de materiales, la cual muestra la relación de cada componente con los múltiples padres. La tabla 4.1 muestra enlistados del lado izquierdo los componentes que son necesarios para fabricar los padres enlistados en la parte superior. En el contenido de la matriz se observan las intersecciones componente-padre, en donde 1 significa que el componente es necesario para el padre indicado.

La familia de producto está formada por 35 productos finales, los cuales se fabrican a partir de 152 componentes; de estos 164 componentes, 126 componentes se pueden agrupar o modular en 51 subensambles estándar. Por lo anterior, se puede decir que la familia cuenta con un total de 86 padres que se fabrican a partir de 152 componentes, siendo 51 subensambles los que juegan un doble rol como componente y padre. La tabla 4.1 muestra un ejemplo de esta relación.

El resultado de salida de la matriz de de lista de materiales indica que los componentes 7E7066, 1W6005 y 7W0060 son necesarios para la fabricación de mas de un padre. El componente 7E7066 es necesario para fabricar cinco padres diferentes, el componente 1W6005 es necesario para fabricar cuatro padres diferentes y el com-

Tabla 4.1: Matriz de lista de materiales

Componente	1069871	1448266	1W8509	2W6727	4P5637	4W4265	4W4470	7C8899	7N8465	7N8527	7W0051	7W2455	Total general
7E7066						1	1	1	1			1	5
1W6005		1	1	1						1			4
7W0060	1				1						1		3
4M3248										1			1
XE-1069870R	1												1
XE-1448265R		1											1
XE-1W0271R					1								1
XE-1W8510R			1										1
XE-2W6895R				1									1
XE-4W4266R						1							1
XE-4W4471R							1						1
XE-7C8898R								1					1
XE-7N6732R											1		1
XE-7N8466R									1				1
XE-7N8814R										1			1
XE-7W2820R												1	1

ponente 7W0060 es necesario para fabricar tres padres diferentes. Como conclusión se obtiene la identificación de tres componentes comunes los cuales fueron objeto de estudio en el siguiente paso.

#### 4.2.2 ANÁLISIS DE SISTEMA DE MANUFACTURA

Una vez que se identificaron los componentes comunes, el segundo paso consistió en identificar también aquellos que comparten el mismo proceso de manufactura. El objetivo es reemplazar dos o más componentes por una parte común. Para identificar los componentes que comparten el mismo proceso de manufactura fue necesario replicar una matriz similar a la matriz de lista de materiales, pero en esta ocasión relacionando cada componente con las operaciones del proceso por las que cada uno pasa.

Este paso es relevante para las organizaciones que no tienen definida una base de subensambles intermedia previa al producto terminado. Estos componentes co-

munes son los candidatos a contar con inventario de seguridad. La tabla 4.2 muestra la relación de cada componente y las operaciones de manufactura por las que pasa. En el contenido de la matriz se observan las intersecciones componente proceso, en donde 1 significa que el componente si requiere de la operación indicada y 0 significa que el componente no requiere de la operación indicada.

Tabla 4.2: Matriz de ruta de proceso

	Maquinado 0005	Maquinado 0007	Lavado final 0030	Prensa 0070	Inspeccion 0075	Lavado final 0076	Lab.de fluidos 0880	Entrega 0895
<b>Componente</b>	<b>0005</b>	<b>0007</b>	<b>0030</b>	<b>0070</b>	<b>0075</b>	<b>0076</b>	<b>0880</b>	<b>0895</b>
1W6005	1	1	1	1	1	0	0	1
4M3248	1	1	1	1	1	0	0	1
7E7066	1	1	0	1	1	1	1	1
7W0060	1	1	1	0	0	0	1	1
XE-1069870R	1	1	1	0	0	0	1	1
XE-1448265R	1	1	1	1	1	0	0	1
XE-1W0271R	1	1	1	0	0	0	1	1
XE-1W8510R	1	1	1	1	1	0	0	1
XE-2W6895R	1	1	1	1	1	0	0	1
XE-4W4266R	1	1	0	1	1	1	1	1
XE-4W4471R	1	1	0	1	1	1	1	1
XE-7C8898R	1	1	0	1	1	1	1	1
XE-7N6732R	1	1	1	0	0	0	1	1
XE-7N8466R	1	1	0	1	1	1	1	1
XE-7N8814R	1	1	1	1	1	0	0	1
XE-7W2820R	1	1	0	1	1	1	1	1

Una vez que se obtuvo esta relación, fue necesario agrupar aquellos componentes que comparten exactamente la misma ruta de proceso o secuencia de operaciones, de manera que se puedan obtener módulos comunes y estándar. Estos módulos de componentes comunes fueron reemplazados por un solo número de componente, dando lugar a los normalmente conocidos como subensambles. La tabla 4.3 muestra las agrupaciones realizadas así como el número de componente de remplazo de dos o más partes.

Tabla 4.3: Matriz de agrupamiento por proceso

Subensamblable	Componente	Maquinado	Maquinado	Lavado final	Prensa	Inspección	Lavado final	Lab. de fluidos	Entrega
		0005	0007	0030	0070	0075	0076	0880	0895
1069871	XE-1069870R	1	1	1	0	0	0	1	1
	7W0060	1	1	1	0	0	0	1	1
1448266	XE-1448265R	1	1	1	1	1	0	0	1
	1W6005	1	1	1	1	1	0	0	1
1W8509	XE-1W8510R	1	1	1	1	1	0	0	1
	1W6005	1	1	1	1	1	0	0	1
2W6727	XE-2W6895R	1	1	1	1	1	0	0	1
	1W6005	1	1	1	1	1	0	0	1
4P5637	XE-1W0271R	1	1	1	0	0	0	1	1
	7W0060	1	1	1	0	0	0	1	1
4W4265	XE-4W4266R	1	1	0	1	1	1	1	1
	7E7066	1	1	0	1	1	1	1	1
4W4470	XE-4W4471R	1	1	0	1	1	1	1	1
	7E7066	1	1	0	1	1	1	1	1
7C8899	XE-7C8898R	1	1	0	1	1	1	1	1
	7E7066	1	1	0	1	1	1	1	1
7N8465	XE-7N8466R	1	1	0	1	1	1	1	1
	7E7066	1	1	0	1	1	1	1	1
7N8527	1W6005	1	1	1	1	1	0	0	1
	XE-7N8814R	1	1	1	1	1	0	0	1
	4M3248	1	1	1	1	1	0	0	1
7W0051	XE-7N6732R	1	1	1	0	0	0	1	1
	7W0060	1	1	1	0	0	0	1	1
7W2455	XE-7W2820R	1	1	0	1	1	1	1	1
	7E7066	1	1	0	1	1	1	1	1

El resultado de salida del análisis del sistema de manufactura indica que dieciséis componentes se pueden agrupar en doce módulos de componentes comunes o subensambles debido a que comparten las mismas operaciones de proceso. Como ejemplo, el componente 7E7066 comparte el mismo proceso en conjunto con otros cinco componentes distintos; el componente 1W6005 comparte el mismo proceso en conjunto con otros cuatro componentes distintos; y el componente 7W0060 comparte el mismo proceso en conjunto con otros tres componentes distintos. Esta forma de agrupamiento permite controlar una menor cantidad de componentes sin afectar el desempeño de los procesos de producción, sino por el contrario, permite eficientizar-

los.

### 4.2.3 SELECCIÓN DE PUNTOS DE DESACOPLAMIENTO

El tercer paso consistió en analizar el sistema de producción de la organización para seleccionar los puntos en donde se debe colocar el inventario. El objetivo es precisamente seleccionar la posición estratégica del inventario dentro del sistema, de forma que pueda cumplir con su función. La empresa bajo estudio cuenta con dos procesos principales: maquinado y ensamble final. El tiempo de ciclo del proceso de maquinado es de cinco días mientras que el tiempo de ciclo de ensamble final es de tres días. Por otro lado, el tiempo de entrega de materia prima de los proveedores hacia la empresa es variable, siendo éste desde una hasta cuarenta semanas. Las diferentes tasas de abastecimiento pueden ser observados en la figura 4.1.



Figura 4.1: Localización de inventario en puntos de desacoplamiento en sistema de manufactura

Por lo anterior, debido a la variabilidad en las tasas de entrega y de consumo tanto internas como externas, fue necesario crear independencia entre los procesos mediante los puntos de desacoplamiento en donde se va localizar el inventario. Los puntos de desacoplamiento seleccionados fueron los siguientes:

1. Supermercado: Ubicado después el proceso de maquinado y antes del proceso de ensamble. La posición del inventario es estratégica porque la tasa de producción del proceso de maquinado es más lenta que la de ensamble, resulta conveniente contar con inventario en las partes con mayor tiempo de entrega. Al contar con inventario en niveles intermedios o subensambles, es posible reducir el tiempo de fabricación del ensamble final de ocho días a tres días.
2. Almacén de materia prima: Ubicado antes del proceso de maquinado. La posición del inventario es estratégica porque el tiempo de entrega de los proveedores hacia la empresa es mucho más largo que cualquiera de los tiempos de fabricación internos, por lo que la capacidad de reacción ante variabilidad de suministro y demanda es lenta.

Al mismo tiempo, cada punto de desacoplamiento permite reducir el tiempo de entrega, ya que el inventario estará posicionado en un nivel intermedio antes del ensamble final logrando una reducción de cinco días correspondientes al tiempo de entrega de los subensambles. Y en cuanto al inventario de materia prima, permitirá no depender de forma inmediata del abastecimiento de los proveedores.

Los puntos de desacoplamiento también pueden ser observados en la figura 4.1.

#### 4.2.4 CLASIFICACIÓN ABC

El cuarto paso consistió en realizar una clasificación ABC para cada producto. La clasificación ABC se realizó para materia prima (152 componentes) y productos manufacturados (51 componentes) en dos dimensiones, por separado para cada tipo de producto. El objetivo de la clasificación ABC fue segmentar los productos de acuerdo a la relevancia de los indicadores seleccionados, de manera que se puedan identificar los más importantes que requieran mayor nivel de atención, de los menos importantes que requieren menor nivel de atención. La clasificación ayudó a selec-

cionar el nivel de servicio de cada producto y por lo tanto fue un elemento clave para determinar el nivel de inventario. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

1. Cálculo de parámetros iniciales, siendo éstos la demanda promedio y desviación estándar de la demanda de cada producto.
2. Selección de las variables para la clasificación ABC. Fue necesario realizar la clasificación ABC en dos dimensiones, esto derivado de la cantidad de variables identificadas como críticas para cada producto. Las variables consideradas para la clasificación de los productos de materia prima fueron demanda y tiempo de entrega, mientras que las variables consideradas para la clasificación de los productos manufacturados fueron demanda y costo.
3. Definición de rangos para cada categoría ABC. Para el volumen de demanda de los dos tipos de producto se aplicó la Ley de Pareto de forma directa, mientras que para las variables tiempo de entrega y costo se evaluaron los valores y sus repeticiones para determinarlos.

Para la clasificación ABC de la demanda se realizó la clasificación de Pareto de forma directa y fue necesario realizar los siguientes pasos:

- a) Ordenar la demanda. Fue necesario ordenar el total de la demanda de cada producto de mayor a menor.
- b) Obtener el total de la demanda global. Fue necesario sumar el total de la demanda de cada producto para obtener un total general.
- c) Obtener el porcentaje de participación de cada producto. Fue necesario obtener el porcentaje de participación de cada producto del total de la demanda global. Para ello, se dividió la demanda total del producto entre el total de la demanda global.
- d) Identificar el 80-20 de los productos. Fue necesario categorizar como productos tipo A a los que representaron el mayor volumen de la demanda, en los que la suma de sus demandas representaron el 80 %s del volumen,

siendo estos el 20 % de los productos; como tipo B a los que representaron el nivel medio de la demanda, en los que la suma de sus demandas representaron entre el 80-95 % de la demanda, siendo estos entre el 20-30 % de los productos; como tipo C a los que representaron el resto del volumen de la demanda, siendo estos el resto 50-60 % de los productos.

Para la clasificación ABC del tiempo de entrega y costo fue necesario realizar los siguientes pasos:

- a) Obtener repeticiones de los valores. En este paso fue necesario contar los valores de tiempo de entrega y costo, es decir, fue necesario identificar cuantos datos tenían valores determinados.
  - b) Agrupar las repeticiones en rangos de valores. Una vez que se obtuvieron las repeticiones, fue necesario identificar comportamiento, para definir límites de rangos, esto permitió identificar cuantos datos se encontraban en un rango determinado.
  - c) Asignar valores ABC para cada rango determinado. Finalmente se asignó una categoría ABC a cada rango, de acuerdo al nivel de atención que requiere cada rango de cada variable. En donde se categorizó como tipo A a los productos con mayor tiempo de entrega; como tipo B a los que cuentan con tiempo de entrega media; y C a los que cuentan con menor tiempo de entrega.
4. Selección del nivel de servicio deseado para cada producto de acuerdo al resultado de la clasificación ABC. Fue necesario reconocer el nivel de servicio actual para cada producto, con ello se obtuvo el promedio por categoría ABC para proponer el nivel de servicio deseado.

El resultado de salida de la clasificación ABC se muestra en la tabla 4.4, en donde la primer columna indica la cantidad de componentes por clasificación bidimensional, la segunda columna indica el nivel de servicio actual y la tercer columna indica el nivel de servicio propuesto por categoría.

Tabla 4.4: Clasificación ABC y nivel de servicio

Cantidad de componentes					Nivel de servicio actual					Nivel de servicio propuesto				
Materia prima		Demanda			Materia prima		Demanda			Materia prima		Demanda		
		A	B	C			A	B	C			A	B	C
Tiempo de entrega proveedor	A	7	12	22	A	93%	69%	82%	A	95%	85%	90%		
	B	7	9	28	B	84%	67%	48%	B	90%	85%	85%		
	C	17	20	30	C	83%	90%	80%	C	90%	95%	85%		
Subensamblable		Demanda			Subensamblable		Demanda			Subensamblable		Demanda		
		A	B	C			A	B	C			A	B	C
Costo de producto	A	0	3	7	A		80%	100%	A		90%	95%		
	B	2	1	8	B	84%	94%	98%	B	90%	95%	95%		
	C	8	6	4	C	83%	97%	100%	C	90%	95%	95%		
Subensamblable maquinado		Demanda			Subensamblable maquinado		Demanda			Subensamblable maquinado		Demanda		
		A	B	C			A	B	C			A	B	C
Costo de producto	A	0	0	1	A			100%	A			95%		
	B	0	1	2	B		54%	100%	B		85%	95%		
	C	3	1	4	C	69%	77%	83%	C	85%	85%	85%		

#### 4.2.5 SELECCIÓN DE MODELO DE INVENTARIO

El quinto paso consistió en realizar la validación del modelo de inventario a utilizar. El objetivo es seleccionar el modelo de inventario adecuado de acuerdo a las políticas de inventario conforme a las características de la demanda. Para ello, se realizaron dos pasos fundamentales:

1. Prueba de variabilidad. Se realizó la prueba de variabilidad de la demanda mediante la prueba de Silver y Peterson, en donde el coeficiente de variabilidad mayor a 0.2 para cada muestra de datos indica que la demanda es altamente variable. El resultado de la prueba indicó que el 100% de los componentes presenta una demanda con variabilidad alta, por lo tanto no es recomendable utilizar un modelo de inventario con EOQ tradicional.

2. Prueba de normalidad. Se realizó la prueba de normalidad de la demanda para cada producto mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. El resultado de la prueba indicó que más de la mitad de los componentes presentan una distribución de la demanda normal, por lo tanto se decide aplicar la distribución normal para toda la muestra de datos.

En conclusión, de acuerdo a las características de los datos, en los que la demanda es altamente variable, es recomendable utilizar un modelo de inventario estocástico. Considerando además que la empresa cuenta con sistema ERP SAP, el cual se actualiza todos los días de forma automática, se recomienda un modelo con revisión continua. Por lo tanto, el modelo de inventario recomendado es un modelo estocástico con revisión continua. Por lo anterior, la utilización de inventarios de seguridad es recomendable.

#### 4.2.6 DETERMINACIÓN DE INVENTARIO DE SEGURIDAD

El sexto paso consistió en realizar los cálculos de inventario de seguridad para cada producto. El objetivo es determinar la cantidad de inventario recomendada a mantener de cada producto de manera que permita mejorar la disponibilidad del producto en presencia de variabilidad de la oferta y la demanda. Para hacer estos cálculos se utilizó la fórmula 3.1 previamente descrita en el capítulo 3.

Para calcular el inventario de seguridad se consideraron los siguientes elementos:

1. Demanda semanal de los productos de cincuenta y dos periodos. Con ello se calculó la demanda promedio y la desviación estándar de la demanda.
2. Nivel de servicio actual de cada producto. Con ello se calculó el promedio por categoría ABC para proponer el nivel de servicio deseado.

3. Nivel de servicio propuesto (o meta). Con ello se determinó el valor de la función de probabilidad de la distribución normal a utilizar en el cálculo del inventario de seguridad de cada producto.
4. Función de probabilidad de la distribución normal. Se seleccionaron los valores de la función de la probabilidad de la distribución normal para niveles de servicio 85 %, 90 % y 95 %, alineados al marco de referencia del nivel de servicio actual.

La tabla 4.5 muestra un extracto de los cálculos del inventario de seguridad realizados para doce componentes, para al menos un tipo de producto (materia prima, productos manufacturados: subensamble y subensamble maquinado) y para al menos un producto de cada clasificación. La tabla completa se puede consultar en el apéndice A.

Tabla 4.5: Inventario de seguridad

Componente	Clasificación	Tiempo de entrega (semanas)	Costo (USD)	Semana 1	Semana 12	Semana 13	Semana 24	Semana 25	Semana 36	Semana 46	Semana 47	Semana 52	Demanda promedio	Desviación estándar	Clasificación final ABC	Nivel de servicio actual	Nivel de servicio meta	Inventario de seguridad	Punto de reorden	Nivel de servicio antes de SS	Nivel de servicio después de SS
7W0060	Materia prima	18	\$ 2.49	144	423	342	498	360	270	402	492	222	335	175	AA	77%	95%	92	5,940	96%	99%
1W6005	Materia prima	18	\$ 2.09	136	176	210	30	432	318	208	212	4	184	124	AA	77%	95%	78	3,229	94%	98%
XE-7N8814R	Materia prima	22	\$ 11.87	34	44	50	5	102	86	52	53	1	45	34	BA	0%	85%	28	970	93%	99%
2315128	Materia prima	11	\$ 28.74	-	64	56	60	64	12	56	60	12	39	30	BB	67%	85%	19	413	76%	94%
XE-4W4471R	Materia prima	14	\$ 211.34	24	24	-	24	-	16	16	16	-	17	10	CB	0%	85%	12	226	91%	100%
5241310	Materia prima	40	\$ 881.59	10	18	4	9	7	2	2	5	6	11	13	CA	9%	90%	29	426	86%	99%
6V5845	Materia prima	7	\$ 1.00	10	18	4	9	7	2	2	5	6	11	13	CC	84%	85%	10	70	91%	96%
2W6618	Subensamble	1	\$ 42.93	-	48	34	70	32	28	58	72	46	40	24	AC	0%	90%	6	33	83%	92%
4W4459	Subensamble	1	\$ 290.21	24	24	-	24	-	16	16	16	-	17	10	AB	80%	90%	4	13	86%	93%
1069871	Subensamble maquinado	1	\$ 184.42	-	77	72	84	64	42	64	88	24	56	34	AC	82%	85%	6	50	84%	89%
7N8527	Subensamble maquinado	1	\$ 34.41	34	44	50	5	102	86	52	53	1	45	34	AC	62%	85%	6	39	93%	96%
4P5637	Subensamble maquinado	1	\$ 167.05	48	48	34	70	32	28	58	72	46	41	24	BC	77%	85%	5	36	92%	96%

Para demostrar la funcionalidad del inventario de seguridad en la disminución de desabasto de materia prima y productos manufacturados fue necesario hacer una simulación de cumplimiento de entrega órdenes, entendiéndose por órdenes a la cantidad de unidades demandada por producto por periodo. En la simulación se muestra el resultado del cumplimiento antes y después de considerar el inventario de seguridad planeado para cada producto, bajo el supuesto de que cada componente es abastecido o fabricado a tasa promedio (o demanda promedio). La simulación se

realizó para doce componentes, para al menos un tipo de producto (materia prima, productos manufacturados: subensamble y subensamble maquinado) y para al menos un producto de cada clasificación. La cantidad de productos evaluados por tipo y clasificación se puede observar en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Muestra de evaluación del inventario de seguridad

Tipo de producto	AA	AB	AC	BA	BB	BC	CA	CB	CC	Total
Materia prima	2			1	1		1	1	1	7
Subensamble		1	1							2
Subensamble maquinado			2			1				3
Total	2	1	3	1	1	1	1	1	1	12

Un extracto de los resultados de la evaluación del inventario de seguridad para los productos materia prima se muestra en la tabla 4.7. La tabla completa se puede consultar en el apéndice B.

Antes de considerar el inventario de seguridad y con el supuesto de abastecimiento a tasa promedio, los resultados de la evaluación para el componente 7W0060 clasificación AA (alta demanda y largo tiempo de entrega) muestran siete periodos de los cincuenta y dos con un nivel de servicio por debajo del 93 % (nivel de servicio promedio actual del grupo AA). Después de considerar el inventario de seguridad, los resultados muestran que los siete periodos incrementaron su nivel de servicio, cuatro de ellos por arriba de la meta del 95 %. De forma general para este componente, antes de considerar el inventario promedio, el nivel de servicio promedio de los cincuenta y dos periodos es de 96 %; mientras que después de considerarlo, el nivel de servicio promedio de los cincuenta y dos periodos es de 99 %.

De igual forma, un extracto de los resultados de la evaluación del inventario de seguridad para los productos manufacturados se muestra en la tabla 4.8. La tabla completa se puede consultar en el apéndice B.

Antes de considerar el inventario de seguridad y con el supuesto de abastecimiento a tasa promedio, los resultados de la evaluación para el componente 4W4459 clasificación AB (alta demanda y mediano tiempo de entrega) muestran vintidós

Tabla 4.7: Evaluación de inventario de seguridad en materia prima

Componente	Identificador	Tiempo de entrega (semanas)											Demanda promedio	Desviación estándar	Clasificación final ABC	Nivel de servicio actual	Nivel de servicio meta	Inventario de seguridad	Punto de reorden
			Semana 1	Semana 12	Semana 13	Semana 24	Semana 25	Semana 26	Semana 46	Semana 47	Semana 52								
7W0060	Demanda	18	144	423	342	498	360	270	402	492	222	335	175	AA	77%	95%	92	5,940	
7W0060	Produccion promedio		335	335	335	335	335	335	335	335	335								
7W0060	Inventario de seguridad		92	92	92	92	92	92	92	92	92								
7W0060	Balance		140	1,493	1,486	786	761	596	- 430	- 587	- 51								
7W0060	Antes		100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	68%	100%				96%				
7W0060	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	87%	100%				99%				
1W6005	Demanda	18	136	176	210	30	432	318	208	212	4	184	124	AA	77%	95%	78	3,229	
1W6005	Produccion promedio		184	184	184	184	184	184	184	184	184								
1W6005	Inventario de seguridad		78	78	78	78	78	78	78	78	78								
1W6005	Balance		- 188	654	628	325	76	- 255	- 374	- 402	- 236								
1W6005	Antes		100%	100%	100%	100%	100%	58%	88%	87%	100%				94%				
1W6005	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	82%	100%	100%	100%				98%				
XE-7N8814R	Demanda	22	34	44	50	5	102	86	52	53	1	45	34	BA	0%	85%	28	970	
XE-7N8814R	Produccion promedio		45	45	45	45	45	45	45	45	45								
XE-7N8814R	Inventario de seguridad		28	28	28	28	28	28	28	28	28								
XE-7N8814R	Balance		- 48	107	103	82	25	- 59	- 90	- 98	- 59								
XE-7N8814R	Antes		100%	100%	100%	100%	100%	53%	87%	86%	100%				93%				
XE-7N8814R	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	86%	100%	100%	100%				99%				
2315128	Demanda	11	-	64	56	60	64	12	56	60	12	39	30	BB	67%	85%	19	413	
2315128	Produccion promedio		0	39	39	39	39	39	39	39	39								
2315128	Inventario de seguridad		19	19	19	19	19	19	19	19	19								
2315128	Balance		-	- 76	- 93	- 218	- 243	- 278	- 406	- 427	- 275								
2315128	Antes		100%	61%	70%	65%	61%	100%	70%	65%	100%				76%				
2315128	Despues		100%	91%	100%	97%	91%	100%	100%	97%	100%				94%				
5241310	Demanda	40	10	18	4	9	7	2	2	5	6	11	13	CA	9%	90%	29	426	
5241310	Produccion promedio		11	11	11	11	11	11	11	11	11								
5241310	Inventario de seguridad		29	29	29	29	29	29	29	29	29								
5241310	Balance		1	- 29	- 22	- 81	- 76	- 35	- 41	- 35	0								
5241310	Antes		100%	63%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				86%				
5241310	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				99%				
XE-4W4471R	Demanda	14	24	24	-	24	-	16	16	16	-	17	10	CB	0%	85%	12	226	
XE-4W4471R	Produccion promedio		18	18	18	18	18	16	16	16	16								
XE-4W4471R	Inventario de seguridad		12	12	12	12	12	12	12	12	12								
XE-4W4471R	Balance		- 7	- 23	- 5	- 36	- 18	10	1	1	9								
XE-4W4471R	Antes		75%	75%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%				91%				
XE-4W4471R	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				100%				
6V5845	Demanda	7	10	18	4	9	7	2	2	5	6	11	13	CC	84%	85%	10	70	
6V5845	Produccion promedio		13	13	13	13	13	13	7	7	7								
6V5845	Inventario de seguridad		10	10	10	10	10	10	10	10	10								
6V5845	Balance		3	- 10	- 1	- 42	- 36	23	- 5	- 3	10								
6V5845	Antes		100%	72%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				91%				
6V5845	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				96%				

periodos de los cincuenta y dos con un nivel de servicio por debajo del 83% (nivel de servicio promedio actual del grupo AB). Después de considerar el inventario de seguridad, los resultados muestran que los veintidós periodos incrementan su nivel de servicio, uno de ellos por arriba de la meta del 90%. De forma general para este componente, antes de considerar el inventario promedio, el nivel de servicio promedio de los cincuenta y dos periodos es de 86%; mientras que después de considerarlo, el nivel de servicio promedio de los cincuenta y dos periodos es de 93%.

En conclusión, y de acuerdo a los resultados de salida de los ejemplos incluidos,

Tabla 4.8: Evaluación de inventario de seguridad en productos manufacturados

Componente	Identificador	Costo (USD)	Semana 1	Semana 12	Semana 13	Semana 24	Semana 25	Semana 26	Semana 36	Semana 47	Semana 52	Demanda promedio	Desviación estándar	Clasificación final ABC	Nivel de servicio actual	Nivel de servicio meta	Inventario de seguridad	Punto de reorden
4W4459	Demanda	\$ 290.21	24	24	-	24	-	24	16	16	-	17	10	AB	80%	90%	4	13
4W4459	Produccion promedio		17	17	17	17	17	17	17	17	17							
4W4459	Inventario de seguridad		4	4	4	4	4	4	4	4	4							
4W4459	Balance		- 8	- 35	- 18	- 60	- 43	- 50	- 16	- 14	- 1							
4W4459	Antes		71%	71%	100%	71%	100%	71%	100%	100%	100%				86%			
4W4459	Despues		87%	87%	100%	87%	100%	87%	100%	100%	100%					93%		
2W6618	Demanda	\$ 42.93	-	48	34	70	32	12	28	72	46	40	24	AC	0%	90%	6	33
2W6618	Produccion promedio		0	40	40	40	40	40	40	40	40							
2W6618	Inventario de seguridad		6	6	6	6	6	6	6	6	6							
2W6618	Balance		- 1	46	52	- 15	- 7	21	- 16	- 200	- 238							
2W6618	Antes		100%	100%	100%	57%	100%	100%	100%	55%	86%				83%			
2W6618	Despues		100%	100%	100%	66%	100%	100%	100%	64%	100%					92%		
4P5637	Demanda	\$ 167.05	48	48	34	70	32	12	28	72	46	41	24	BC	77%	85%	5	36
4P5637	Produccion promedio		41	41	41	41	41	41	41	41	41							
4P5637	Inventario de seguridad		5	5	5	5	5	5	5	5	5							
4P5637	Balance		- 8	127	134	79	87	116	83	- 90	- 123							
4P5637	Antes		85%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	56%	88%				92%			
4P5637	Despues		95%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	63%	99%					96%		
1069871	Subensamble maquinado	\$ 184.42	-	77	72	84	64	30	42	88	24	56	34	AC	82%	85%	6	50
1069871	Produccion promedio		0	56	56	56	56	56	56	56	56							
1069871	Inventario de seguridad		6	6	6	6	6	6	6	6	6							
1069871	Balance		- 15	1	- 15	- 175	- 183	- 157	- 243	- 474	- 302							
1069871	Antes		100%	100%	78%	67%	88%	100%	100%	64%	100%				84%			
1069871	Despues		100%	100%	86%	74%	97%	100%	100%	71%	100%					89%		
7N8527	Subensamble maquinado	34.414051	34	44	50	5	102	45	86	53	1	45	34.28	AC	62%	85%	6	39
7N8527	Produccion promedio		45	45	45	45	45	45	45	45	45							
7N8527	Inventario de seguridad		6	6	6	6	6	6	6	6	6							
7N8527	Balance		-48	103	98	73	16	16	-72	-115	-78							
7N8527	Antes		100%	100%	100%	100%	100%	100%	52%	85%	100%				93%			
7N8527	Despues		100%	100%	100%	100%	100%	100%	59%	96%	100%					96%		

se demuestra que el inventario de seguridad permite reducir desabasto de materiales, y por lo tanto mejorar el nivel de servicio a clientes. El resumen para cada componente antes y despues de la consideración del inventario de seguridad también se puede observar en la tabla 4.5.

#### 4.2.7 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE REORDEN

El séptimo paso consistió en realizar los cálculos del punto de reorden para cada producto. El objetivo es determinar el nivel de inventario en el que se debe reordenar cada producto de manera que permita mejorar la disponibilidad del producto en presencia de variabilidad de la oferta y la demanda. Para hacer estos cálculos se utilizó la fórmula 3.2 previamente descrita en el capítulo 3.

La tabla 4.5 muestra un extracto de los cálculos del punto de reorden realizados para doce componentes, para al menos un tipo de producto (materia prima, productos manufacturados: subensamble y subensamble maquinado) y para al menos un producto de cada clasificación. La tabla completa se puede consultar en el apéndice A.

### 4.3 ETAPA 3: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados de la presente implementación demuestran que la utilización de herramientas cuantitativas en la industria moderna continúan siendo efectivas para mejorar el desempeño de las cadenas de suministro. Los resultados de salida de cada paso implementado son identificados en cada sección.

El análisis de estructura de producto, el análisis del sistema de manufactura y la selección de puntos de desacoplamiento, permiten sin duda la simplificación en la cantidad de componentes a administrar y el lugar estratégico en donde los inventarios se deben colocar. La combinación de estos tres pasos son esenciales para lograr acertar sobre la posición donde se debe colocar el inventario dentro de una red de distribución; el no considerarlos definitivamente puede causar decisiones de colocación de inventario en los sitios incorrectos y que no mejoren o apoyen el desempeño de la cadena de suministro.

Por otro lado, la clasificación ABC es un determinante clave en la segmentación de los productos, es muy importante identificar aquellos con mayor relevancia para la empresa, cuales sean sus variables determinantes. La clasificación permite un balance de enfoque de lo más importante de lo menos importante; buscar el mismo nivel de servicio para todos los productos o clientes puede resultar en altos costos, no sólo de inventario, sino de recursos necesarios para administrarlo.

En cuanto a la determinación de la cantidad de inventario, es sumamente importante conocer las características de la demanda para tomar la mejor decisión del

modelo de inventario a implementar. De primera instancia se puede sugerir el que por experiencia se conoce, o el que ya se sabe que si funciona, pero no necesariamente es el mejor en todos los casos.

## CAPÍTULO 5

# CONCLUSIONES

---

### 5.1 CONCLUSIONES GENERALES

En definitiva se recomienda simplificar en lo posible, es mejor administrar una menor cantidad de componentes gracias al análisis de estructura de producto en combinación con el análisis del sistema de manufactura. Además de que se requiere menor administración, se disminuyen tiempos de entrega al tener partes comunes ya fabricadas. Por otro lado, es de suma importancia identificar en dónde colocar inventario, de manera que realmente proporcione flexibilidad a las organizaciones; se demuestra que sin el nivel de inventario adecuado se logran bajos niveles de desempeño. Otro elemento primordial es la clasificación, es fundamental identificar lo importante de lo menos importante, aplica a cualquiera elemento considerado relevante y a cualquier indicador o variable significativa para las organizaciones. La clasificación ABC es crucial para enfocar esfuerzos y recursos. No es recomendable intentar darle el mismo servicio a todos, ya que ni todos los clientes ni todos los mercados son iguales o presentan las mismas características. En cuanto a la demanda, hay que conocerla antes de tomar decisiones arbitrarias de recomendaciones de inventario; *una misma medicina no necesariamente cura todas las enfermedades.*

## 5.2 CONTRIBUCIONES

En cuanto a las aportaciones, se ha desarrollado una propuesta de inventario para la empresa bajo estudio, misma que demuestra su funcionamiento. Con la aplicación de esta propuesta es posible mejorar el desempeño de entregas de la familia de productos seleccionada.

Por otro lado, esta metodología integra la forma en la que no sólo se deben calcular los inventarios, sino la forma en la que se deben planear, considerando elementos claves de la organización, de sus productos y de sus clientes. Elementos clave como la estructura de sus productos, el ambiente de manufactura, los puntos de desacoplamiento, el tipo de productos, demandas y clientes y las características de cada uno.

## 5.3 RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO

En cuanto al trabajo futuro, se pretende replicar esta metodología en el resto de las familias de producto, aún y que tengan excelente desempeño. Esta metodología no sólo permite sugerir cantidades de inventario, sino que deja al descubierto a aquellos productos que probablemente estén incurriendo en los excesos, mismos que representan costos.

## 5.4 CONCLUSIONES PERSONALES

En forma personal, el trayecto a lo largo de este trabajo, en cuanto a tiempo y esfuerzo no fue dimensionado apropiadamente en un inicio. La organización, a corto y mediano plazo, fue fundamental para lograr la entrega de cada avance a tiempo; no queda duda que la organización y planificación de tiempos y actividades es la

---

puesta en marcha de los deseos en la acción, y por consecuencia en su cristalización. El valor del tiempo tomó un significado sumamente relevante.

En general, el camino a lo largo de este trabajo de tesis fue más interesante de lo imaginado y realmente se aprendió más de lo inicialmente dimensionado.

# BIBLIOGRAFÍA

---

- ANUAR, A. y R. M. YUSUFF (2011), «Manufacturing best practices in Malaysian small and medium enterprises (SMEs)», *Benchmarking: An International Journal*, **18**(3), págs. 324–341, URL <https://doi.org/10.1108/14635771111137750>.
- APICS (2015), *Basics of Supply Chain Management. CPIM participant workbook. Part 1-2*, APICS, Chicago, IL.
- APICS-DICTIONARY (2013), «APICS Dictionary», 4ta. ed.
- AWHEDA, A., M. N. AB-RAHMAN, R. RAMLI y H. ARSHAD (2016), «Factors related to supply chain network members in SMEs», *Journal of Manufacturing Technology Management*, **27**(2), págs. 312–335, URL <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2015-0005>.
- BEHESHTI, H. M. (2010), «A decision support system for improving performance of inventory management in a supply chain network», *International Journal of Productivity and Performance Management*, **59**(5), págs. 452–467, URL <https://doi.org/10.1108/17410401011052887>.
- BERTOLINI, M. y A. RIZZI (2002), «A simulation approach to manage finished goods inventory replenishment economically in a mixed push/pull environment», *Logistics Information Management*, **15**(4), págs. 281–293, URL <https://doi.org/10.1108/09576050210436129>.
- BHARDWAJ, M. (2007), *Glossary of Purchasing and Supply Chain Management*, Excel Books, URL <https://books.google.com.mx/books?id=RNQW8myddvkC>.

- BRERETON, R. G. (2014), «The normal distribution», *Journal of Chemometrics*, **28**(11), págs. 789–792, URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cem.2655>.
- CHAN, F. T. y H. QI (2003), «An innovative performance measurement method for supply chain management», *Supply Chain Management: An International Journal*, **8**(3), págs. 209–223, URL <https://doi.org/10.1108/13598540310484618>.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, Planeación y Operación*, tercera edición, Pearson Educación, Naucalpán de Juárez, Estado de México.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2010), *Supply Chain Management. Strategy, Planning and Operation*, cuarta edición, Pearson, Nueva Jersey, EUA.
- DUFFY, M. (2004), «How Gillette Cleaned Up Its Supply Chain», *Supply Chain Management*, **8**(3), págs. 20–27, URL <https://trid.trb.org/view/607024>.
- HERNANDEZ-RUIZ, K. E., E. OLIVARES-BENITE, J. L. MARTINEZ-FLORES y S. O. CABALLERO-MORALES (2016), «Optimizing Safety Stock Levels in Modular Production Systems Using Component Commonality and Group Technology Philosophy: A Study Based on Simulation», *Mathematical Problems in Engineering*, **2016**(1), pág. 13, URL <https://doi.org/10.1155/2016/9510201>.
- HILLIER, F. S. y G. J. LIEBERMAN (2006), *Introducción a la investigación de operaciones*, 8ª edición, McGraw Hill Interamericana, México, DF.
- KRISTIANO, Y., P. HELO y J. TAKALA (2010), «Strategic inventory allocation for product platform strategy», *Journal of Advances in Management Research*, **7**(2), págs. 233–249, URL <https://doi.org/10.1108/09727981011085011>.
- PERSONA, A., D. BATTINI, R. MANZINI y A. PARESCI (2007), «Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components», *International Journal of Production Economicst*, **110**(1), págs. 147–159, URL <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.020>.

- PTAK, C. y C. SMITH (2018), *Demand Driven Material Requirements Planning*, Industrial Press, Incorporated, URL <https://books.google.com.mx/books?id=q4pPswEACAAJ>.
- RĂDĂSANU, A. C. (2016), «Inventory Management, service level and safety stock», *Journal of Public Administration, Finance and Law*, **1**(9), págs. 145–153, URL <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=515687>.
- SILVER, E. y R. PETERSON (1985), *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, Wiley Series in Production, Wiley, URL <https://books.google.com.mx/books?id=isTxPQAACAAJ>.
- STADTLER, H. y C. KILGER (2005), *Supply Chain Management and Advanced Planning*, tercera edición, Springer, Berlín y Heidelberg, Alemania.
- STEELE, W. y K. PLUNKETT (1994), «Finished Stock: The Piggy in the Middle», *Logistics Information Management*, **7**(6), págs. 16–22, URL <https://doi.org/10.1108/09576059410815656>.
- STEVENS, G. C. (1989), «Integrating the Supply Chain», *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, **19**(8), págs. 3–8, URL <https://doi.org/10.1108/EUM00000000000329>.
- TALLURI, S., K. CETIN y A. GARDNER (2004), «Integrating demand and supply variability into safety stock evaluations», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **34**(1), págs. 62–69, URL <https://doi.org/10.1108/09600030410515682>.
- ÖZTUNA, D., E. ATILLA HALIL y E. TÜCCAR (2006), «Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions», *Turkish Journal of Medical Sciences*, **36**(3), págs. 171 – 176, URL <https://dergipark.org.tr/download/article-file/1292390>.

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Dolores Guadalupe González Díaz

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

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

DISMINUCIÓN DE DESABASTO DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS  
MANUFACTURADOS MEDIANTE HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS  
PARA EL CONTROL DE INVENTARIO

Mi nombre es Dolores Guadalupe González Díaz, nací en Ciudad Juárez, Chihuahua el 25 de febrero de 1988. Mis padres son el Ing. José Antonio González Ramírez y la Sra. Maria Guadalupe Díaz Martínez, ambos oriundos de Durango, Durango. Tengo dos hermanos, José Antonio y José Alberto. Me gusta que me llamen Lolys, es corto y amigable.

Soy Ingeniería Industrial y de Sistemas egresada del Instituto Tecnológico de Monterrey (ITESM), campus Monterrey. Cuento con la Certificación en Administración de Inventario y Producción (CPIM, por sus siglas en inglés *Certified in Production and Inventory Management*) por la Sociedad Americana de Control de Inventario y Producción (APICS, por sus siglas en inglés *American Production and*

---

*Inventory Control Society*), ahora Asociación para la Gestión de Cadena de Suministro (ASCM, por sus siglas en inglés *Association for Supply Chain Management*).

Tengo 8 años de experiencia en la industria metal-mecánica, en las áreas de distribución, planeación de demanda, control de producción, sistemas de calidad, cambios de ingeniería y servicio a cliente.

Mis pasatiempos son convivir con mi familia, visitarlos cada que tengo oportunidad; viajar y conocer nuevos lugares, tanto en México como en el extranjero; ver películas y series, me relaja; me gusta nadar pero no lo practico como deporte; me gusta cazar ofertas de lo que necesite comprar, pero no soy compradora compulsiva; me gusta disfrutar de la naturaleza, principalmente de los ecosistemas que tengan agua, como la playa y los lagos.