

SEP

Tecnológico Nacional de México

## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA



### **MODELO DE CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN UN NEGOCIO DE AEROESTRUCTURAS**

TRABAJO DE TESIS PRESENTADO POR:  
DANIEL RAMIREZ

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. EMIGDIO Z. FLORES LÓPEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. LILIA CRISTINA MORALES OCHOA

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. DICIEMBRE DE 2021

# **MODELO DE CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN UN NEGOCIO DE AEROESTRUCTURAS**

Trabajo de tesis presentado

por

Daniel Ramirez

Aprobado en cuanto a estilo y contenido por:

---

Dr. Emigdio Z. Flores Lopez. Presidente

---

Dra. Lilia Cristina Morales Ochoa. Revisor. Miembro

---

Dr. Adrian Rodriguez Aguiñaga. Revisor. Miembro

---

Dra. Lilia Cristina Morales Ochoa,  
Coordinador del departamento  
Maestría en ingeniería industrial

## **DEDICACIÓN**

A mis padres por apoyarnos en cada decisión que hemos tomado, por tenernos paciencia, por enseñarnos a ser perseverantes y por dedicar su vida entera a nuestros logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, doy gracias a Josh Hendley cuyo apoyo ha sido crítico en mi desarrollo, que me ha guiado profesionalmente y me ha sido mi mentor durante la mayor parte de mi desempeño profesional.

Gracias al Dr. Emigdio Z. Flores por el constante apoyo en este proceso integral de formación y por su entrega como maestro.

También me gustaría agradecer a Kati Perea por sus consejos, paciencia, apoyo y por mostrarme que donde hay voluntad hay un camino.

Finalmente me gustaría agradecer a cookie quien me acompañó durante incontables noches de trabajo.

## **RESUMEN**

La optimización del inventario en la cadena de suministros es uno de los objetivos más importantes en las operaciones comerciales, dado que los inventarios optimizados impactan directamente en la eficiencia y rentabilidad de un negocio. Este documento detalla la implementación de un modelo de clasificación de inventarios en una cadena de suministros aeroespacial utilizando métodos como la segmentación adecuada del inventario por medio del análisis ABC-XYZ, la definición de niveles de servicio, la cuantificación del riesgo de proveedores y la selección adecuada de métodos de reposición de existencias para influir directamente en la optimización de costos en un sistema de revisión periódica para asegurar niveles de inventario adecuados adaptándose a la demanda de un mercado cambiante que resultó en una reducción de costos de inventario y un incremento del nivel de servicio.

**Palabras clave:** Administración de inventarios, inventario, análisis ABC-XYZ, industria aeroespacial

## **ABSTRACT**

Optimizing the inventory in a supply chain is one of the most important goals in operating a business, as optimized inventories directly impact the efficiency and profitability of a business. This document details the implementation of inventory classification model in an aerospace supply chain using methods such as inventory segmentation through ABC-XYZ analysis, service levels definition, supplier risk quantification, and a proper replenishment method selection to directly influence cost optimization in a periodic review system to ensure adequate inventory levels adapting to the demand of a changing market resulting in a reduced inventory costs and increased inventory service levels.

**Key words:** Inventory management, inventory, ABC-XYZ analysis, aerospace industry

## **MODELO DE CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN UN NEGOCIO DE AEROESTRUCTURAS**

DICIEMBRE DE 2021

DANIEL RAMIREZ

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL,

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA

Dirigida por: Profesor Dr. Emigdio Z. Flores Lopez

## Tabla de contenido

DEDICACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
1. Introducción.....	11
1.1 El contexto.....	12
1.2 Misión, visión y políticas de la empresa.....	14
1.3 Familia de productos.....	14
1.4 Certificaciones.....	17
1.5 Recursos humanos.....	18
1.6 Problematización.....	19
1.7 Delimitación del problema.....	19
1.8 Objetivo.....	22
1.9 Preguntas de investigación.....	22
1.10 Hipótesis.....	23
1.11 Justificación.....	23
1.12 Estructura.....	24
2. Fundamentos teóricos.....	26
2.1 Marco Teórico.....	27
2.1.1 Control de inventarios.....	27
2.1.2 Análisis ABC.....	28
2.1.3 Niveles mínimos y máximos.....	29
2.1.4 Coeficiente de variación.....	30
2.1.5 Análisis XYZ.....	31
2.1.6 Inventario de seguridad.....	31
2.1.7 Periodo de suministro.....	33
2.1.8 Niveles de servicio.....	33
2.1.9 Planificación de materiales.....	34
2.1.10 Planificación de necesidades de material basada en demanda (DDMRP) 35	
2.2 Marco referencial.....	37
2.2.1 Sistema de administración de inventarios en industria aeroespacial. 37	

2.2.2	Administración del inventario por el método ABC-XYZ .....	38
2.2.3	Metodología para determinar los inventarios de seguridad.....	42
2.2.4	Metodología para la determinación de clasificaciones de inventario .	43
2.2.5	Optimización de políticas para el control de inventarios.....	44
2.2.6	Aplicación de clasificación de inventarios multicriterio .....	45
2.3	Teoría propuesta .....	46
3.	Desarrollo de la propuesta .....	49
3.1	Hipótesis.....	50
3.2	Variables.....	50
3.3	Metodología.....	51
3.3.1	Integridad de datos .....	51
3.3.1.1	Clasificación del riesgo de proveedores .....	52
3.3.1.1.1	Porcentaje de entregas a tiempo .....	52
3.3.1.1.2	Defectos de calidad.....	53
3.3.1.1.3	Porcentaje de compromiso a entregas .....	54
3.3.1.1.4	Tiempo de entrega .....	54
3.3.1.1.5	Cambios en entregas dentro del periodo congelado .....	55
3.3.1.1.6	Porcentaje de inventario de seguridad contractual .....	56
3.3.1.1.7	Indicadores de clasificación del riesgo del proveedor.....	56
3.3.2	Segmentación .....	58
3.3.3	Estrategia de reabastecimiento .....	60
3.3.4	Optimización de inventario.....	63
3.3.5	Políticas de inventario y revisión periódica .....	65
3.4	Calendarización .....	67
4.	Resultados .....	69
4.1	Tiempo de implementación.....	70
4.2	Parámetros de control.....	70
4.3	Valores de distribución del inventario.....	71
4.4	Implementación.....	74
4.5	Valores de distribución post implementación.....	74
4.5.1	La relación de la revisión periódica en los cambios de las clasificaciones.	
	75	

4.5.2	El efecto que tiene el modelo de clasificación en los costos de inventario	76
4.5.3	El modelo de clasificación consigue los niveles de servicio esperados	76
5.	Conclusiones y recomendaciones	79
5.1	Conclusión	80
5.2	Recomendaciones	82
5.2.1	Desviación unilateral	82
5.2.2	Ampliar al análisis ABC y XYZ	83
5.2.3	Implementación en partes manufacturadas y productos terminados	84
5.2.4	Reducir la variación de consumo	84
	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>86</b>



## Índice de Imágenes

Imagen 1 Collins Aerospace. Ubicación de plantas en forma global.	13
Imagen 2 Collins Aerospace. Distribución de planta del corporativo.	13
Imagen 3 Collins Aerospace, soporte del motor	14
Imagen 4 Collins Aerospace, capucha de entrada	15
Imagen 5 Collins Aerospace, capucha del motor.	15
Imagen 6 Collins Aerospace, inversor de propulsión	16
Imagen 7 Collins Aerospace, conjunto de escape.	16
Imagen 8 Collins Aerospace, Motor	17
Imagen 9 Collins Aerospace, ensamble y pintado	17
Imagen 10 Organigrama de la unidad de negocio Aeroestructuras.	18
Imagen 11 Diagrama de pescado (Ishikawa)	19
Imagen 12 Matriz de Vester (Grafica)	21
Imagen 13 Árbol de los problemas.	22
Imagen 14. Collins Aerospace distribución del inventario planeado y actual	23
Imagen 15 Collins Aerospace Inventario físico por programa Airbus	24
Imagen 16 Representación del análisis ABC	29
Imagen 17 Representación del Modelo Q	30
Imagen 18 Representación de análisis XYZ	31
Imagen 19 Representación de inventarios de seguridad	32
Imagen 20 Curva de relación nivel de servicio e inventario	34
Imagen 21 Desacoplamiento estratégico en DDMRP	37
Imagen 22 Fases de madurez en cadena de suministros.	38
Imagen 23 Ejemplo de curva ABC	39
Imagen 24 Patrón de demanda por clasificación XYZ	40
Imagen 25 Metodología para la definición del inventario de seguridad	43
Imagen 26 Metodología	51
Imagen 27 Etapas del ciclo de vida de un numero de parte	52
Imagen 28 Periodos de planeación	55
Imagen 29 Análisis ABC y XYZ	59
Imagen 30 MRP con periodo de suministro	62
Imagen 31 Grafica del tiempo de implementación	70

## Índice de Tablas

Tabla 1 Matriz de Vester (Tabla)	20
Tabla 2 Matriz de Vester (Máximos, mínimos y coordenadas)	20
Tabla 3 Sistema de control de inventarios ABC-XYZ	41
Tabla 4 Características de inventario por matriz ABC-XYZ	41
Tabla 5 Clasificación expandida ABCD123	44
Tabla 6 Política por categoría	45
Tabla 7 Política por categoría	46
Tabla 8 Variables	50
Tabla 9 Clasificación del riesgo del proveedor	57
Tabla 10 Clasificación ABC/XYZ	59
Tabla 11 Estrategias de reabastecimiento	61
Tabla 12 Periodos de suministro	62
Tabla 13 Niveles de servicio por clasificación ABC/XYZ	63
Tabla 14 Días de inventario para proveedor de riesgo bajo	64
Tabla 15 Días de inventario para proveedor de riesgo medio	64
Tabla 16 Días de inventario para proveedor de riesgo alto	64
Tabla 17 Indicadores del desempeño	67
Tabla 18 Calendarización	68
Tabla 19 Niveles de servicio objetivo por clasificación ABC/XYZ	71
Tabla 20 Distribución de partes por clasificación ABC/XYZ	71
Tabla 21 Valor de inventario por clasificación ABC/XYZ	72
Tabla 22 Nivel de servicio por clasificación ABC/XYZ	72
Tabla 23 Paros de línea activos por clasificación ABC/XYZ	73
Tabla 24 Resumen del inventario previo a la implementación	73
Tabla 25 Distribución de partes por clasificación ABC/XYZ post implementación	75
Tabla 26 Valor de inventario por clasificación ABC/XYZ post implementación	76
Tabla 27 Nivel de servicio por clasificación ABC/XYZ post implementación	76
Tabla 28 Paros de línea activos por clasificación ABC/XYZ post implementación	77
Tabla 29 Resumen del inventario previo a la implementación	78

## 1. Introducción

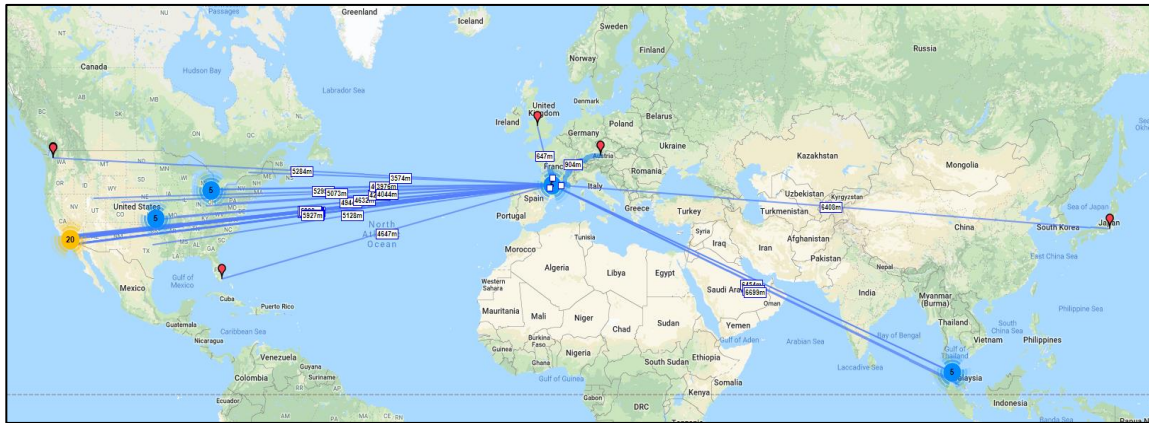
## **1. Introducción**

Una gestión del inventario dinámica y efectiva es una condición necesaria para lograr que un negocio sea exitoso bajo un ambiente de demanda cambiante, presiones financieras por parte de los accionistas y consumidores más exigentes. Por este motivo se decide realizar una tesis que se centra en el área de administración de inventarios de la empresa Collins Aerospace. El problema sujeto de análisis es el capital de trabajo de la compañía a nivel global. A continuación, se dará detalle al contexto y problematización en la siguiente sección.

### **1.1 El contexto**

Collins Aerospace fue creada en el 2018 por la integración de dos compañías estadounidenses, Rockwell Collins fundada en 1933 y líder en el desarrollo de tecnologías de aviación y UTC Aerospace systems fundada en el 2012 líder en estructuras aeroespaciales. Actualmente Collins Aerospace es líder en avances tecnológicos y soluciones digitales para la industria aeroespacial y de defensa, esta nueva compañía forma parte del portafolio de negocios de United Technologies Corporation (Ortberg, 2019).

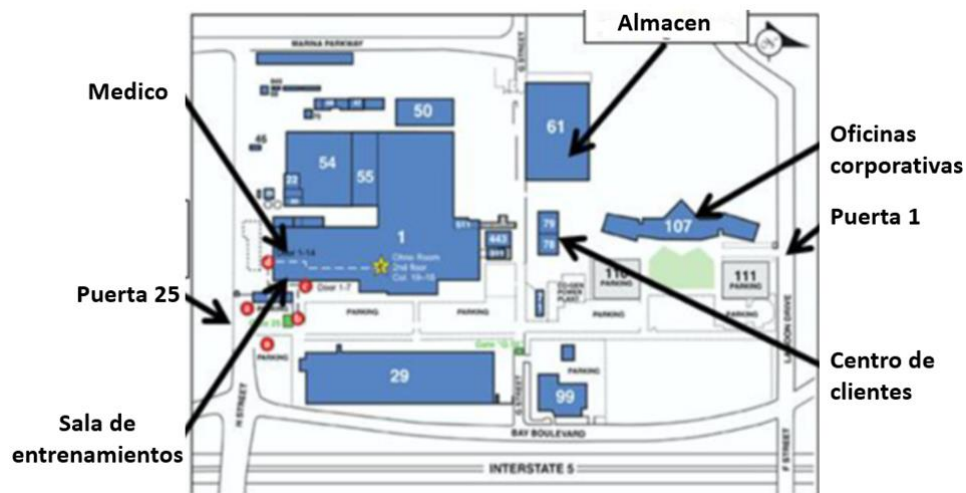
Collins Aerospace tiene casi 300 plantas a nivel global como se muestra en la Imagen 1, con más de 70,000 empleados de los cuales aproximadamente 17,000 son ingenieros. Las ganancias netas para el 2017 fueron de 23 Billones de dólares donde el 3.1 se invirtió en los departamentos de investigación y desarrollo. (Ortberg, 2019).



*Imagen 1. Collins Aerospace. Ubicación de plantas en forma global.*

Fuente: Collins (2019).

Collins Aerospace se encuentra en San Diego, CA con 530,000 pies cuadrados de espacio de oficinas como se muestra en la Imagen 2. Este sitio es parte de Collins desde 2018, funcionando en el campo aeroespacial con más de 80 años de experiencia, ofreciendo a los clientes de ensamble de aviones la más amplia gama de capacidades de diseño y fabricación en la industria. Las diversas capacidades ayudan a los clientes a innovar y llevar productos al mercado de manera rápida y confiable. Nuestro enfoque en ingeniería simplifica todo el ciclo de vida del producto, permitiendo que el cliente se concentre en lo que más le importa a su negocio, con la tranquilidad de que Collins Aerospace tiene el resto cubierto (Ortberg, 2019).



*Imagen 2. Collins Aerospace. Distribución de planta del corporativo.*

Fuente: Collins (2019).

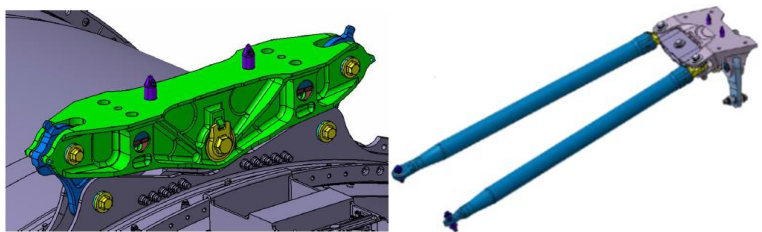
## 1.2 Misión, visión y políticas de la empresa

La misión de Collins Aerospace es conectar negocios aeroespaciales que aceleren el descubrimiento y creación de nuevas tecnologías digitales y proveer una experiencia de calidad para los clientes. La visión de Collins Aerospace es crear una compañía que se dedique a la búsqueda de la innovación aeroespacial cada día que promueva un cielo más inteligente y sustentable. Hacemos esto con un compromiso total con nuestros clientes y sus clientes. Nuestro éxito se deriva de un excelente servicio, caracterizada por el ingenio, adaptabilidad, innovación y calidad (Collins, 2019).

## 1.3 Familia de productos

Collins Aerospace fabrica diversos productos aeroespaciales, desde estructuras de material compuesto para reducción acústica, hasta el motor que genera la propulsión de un avión en el aire.

Los soportes del motor los cuales mantienen al motor fijo al avión que tienen que soportar grandes cantidades de estrés para que la turbina se mantenga adherida al avión en todo momento, en la Imagen 3, se puede ver una representación de la parte.



*Imagen 3. Collins Aerospace. Soporte del motor*

Fuente: Collins (2019).

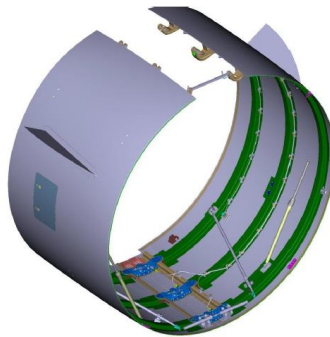
Las capuchas de entrada son el primer punto de contacto con el aire, esta estructura complicada debe permitir el flujo del aire al interior y el exterior de la turbina la cual permitirá separar el aire de entrada y salida que se utilizaran para generar la propulsión, en la Imagen 4, se puede ver una representación de la parte.



*Imagen 4. Collins Aerospace. Capucha de entrada*

Fuente: Collins (2019).

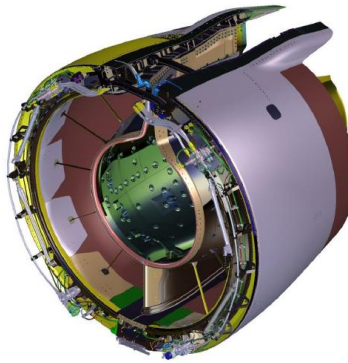
La capucha de la turbina cubre al motor y permite el acceso a los tanques de aceite, filtros, bolsas de enfriamiento y permite a la turbina ser golpeada por rayos sin perder la funcionalidad, en la Imagen 5, se puede ver una representación de la parte.



*Imagen 5. Collins Aerospace. Capucha del motor.*

Fuente: Collins (2019).

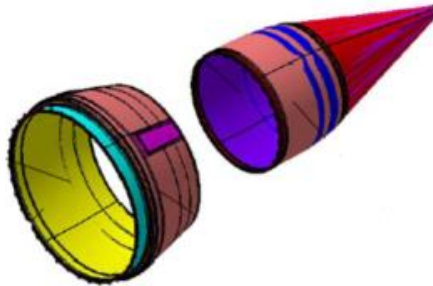
El siguiente producto está diseñado para proporcionar una inversión en la propulsión, este producto ralentiza la aeronave durante el aterrizaje en tierra lo cual reduce el desgaste en los frenos y permite operaciones en pistas cortas, en la Imagen 6, se puede ver una representación del ensamble.



*Imagen 6. Collins Aerospace. Inversor de propulsión*

Fuente: Collins (2019).

El conjunto de escape guía el escape de alta temperatura fuera de la turbina del motor. Este producto también silencia el ruido del motor haciendo el vuelo más cómodo para los clientes de la aerolínea, en la Imagen 7, se puede ver una representación de las partes.

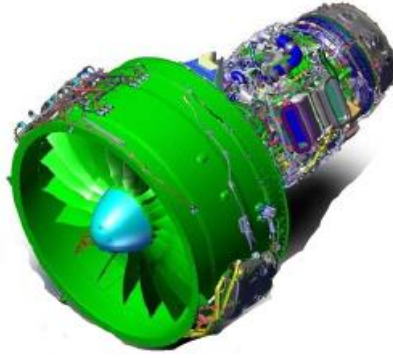


*Imagen 7. Collins Aerospace. Conjunto de escape.*

Fuente: Collins (2019).

El componente más importante de la turbina es el motor de alta proporción que succiona el aire en volúmenes altos, el aire fluye por una cámara de combustión y genera un escape de gas caliente comprimido que al mezclarse con el aire frío general la propulsión. Este producto varía de tamaño de proporción dependiendo el cliente y sus necesidades, en la Imagen 8, se puede ver una representación del ensamble.

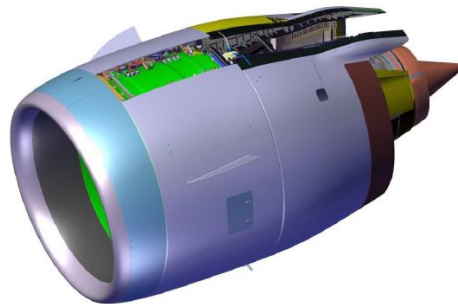




*Imagen 8. Collins Aerospace. Motor*

Fuente: Collins (2019).

La última familia es el servicio de ensamblaje y pintado de la turbina, este servicio se proporciona por separado a cada aerolínea ya que constantemente quieren cambiar la pintura de los aviones, en la Imagen 9, se puede ver una representación del ensamblaje.



*Imagen 9. Collins Aerospace. Ensamble y pintado*

Fuente: Collins (2019).

#### **1.4 Certificaciones**

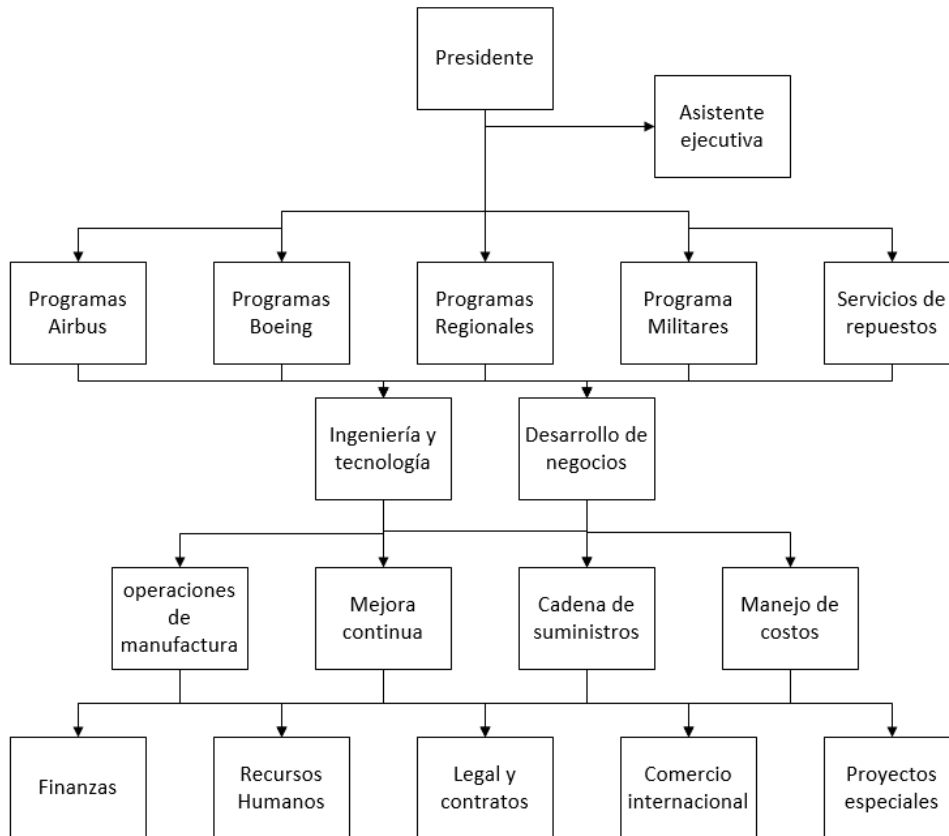
Collins Aerospace cuenta con diversas certificaciones de niveles internacionales ya que tiene clientes en diversas partes del mundo, esto nos hace una de las empresas más competitivas del mundo en el ámbito aeroespacial y militar. (Collins, 2019).

- AS 9100 Rev. D
- ISO 9001:2015

- BS OHSAS 18001:2007
- ISO 14001:2004
- C-TPAT
- Desing Approval for Military Aircraft and Airborne Equipment (DAOS)

### 1.5 Recursos humanos

Se presenta el organigrama de la unidad de negocio de Aeroestructuras, en este organigrama se muestra únicamente alta gerencia ya que únicamente en departamento de operaciones se cuenta con 1,327 empleados. A continuación, se muestra el organigrama organizacional en la Imagen 10.



*Imagen 10. Organigrama de la unidad de negocio Aeroestructuras.*

Fuente: Collins (2019).

## 1.6 Problematización

El problema se encuentra en la mala de administración del inventario del portafolio Airbus y la falta de un modelo de clasificación que permita distribuir los costos de inventario en grado de importancia. En la siguiente sección se dará explicación a las diferentes causas que provocan el exceso de inventario, así como una justificación cuantificable de los costos asociados.

## 1.7 Delimitación del problema

El problema se encuentra en los niveles de inventario del portafolio Airbus, con herramientas de identificación de problemas, se buscará la raíz y la solución a este problema. Enseguida se analizan las posibles causas y factores que pueden influir en el exceso de inventario (ver Imagen 11).

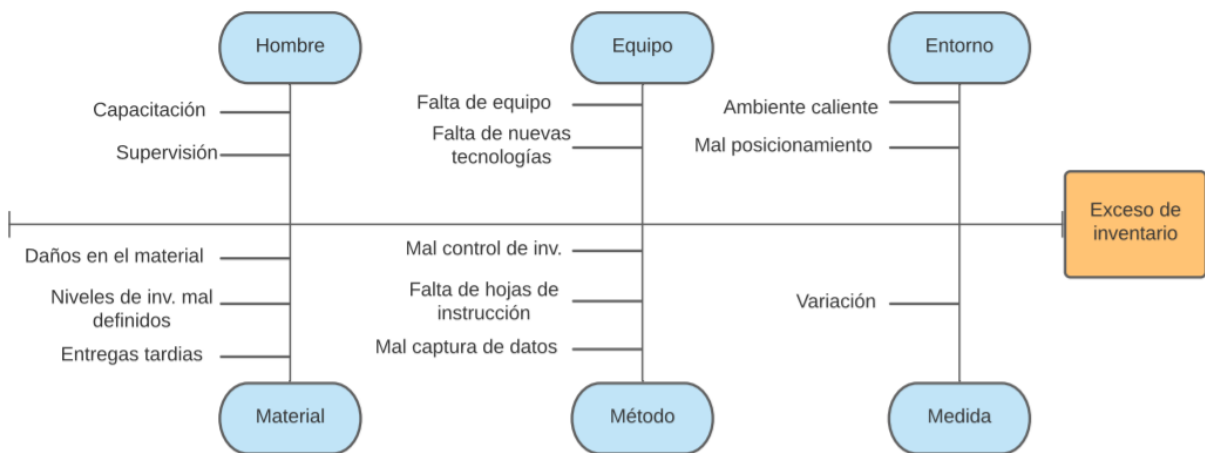


Imagen 11. Diagrama de pescado (Ishikawa)

Fuente: Elaboración propia (2019).

Se toman todos los factores y se analiza la influencia de uno sobre otro mediante la matriz de Vester y se determina el factor que mayor influencia tiene sobre el problema (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Matriz de Vester (Tabla).

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	X
P1 - Capacitación del personal	0	1	1	2	1	1	1	7
P2 - Supervisión del personal	1	0	1	1	1	1	1	6
P3 - Niveles de Inv. mal definidos	1	1	0	2	1	1	3	9
P4 - Mal control de inventarios	1	2	2	0	1	1	2	9
P5 - Mal captura de datos	1	1	1	1	0	1	3	8
P6 - Daños en el material	1	1	1	1	1	0	2	7
P7 - Entregas tempranas	1	1	3	2	3	3	0	13
Y	6	7	9	9	8	8	12	118

Fuente: Elaboración propia (2019).

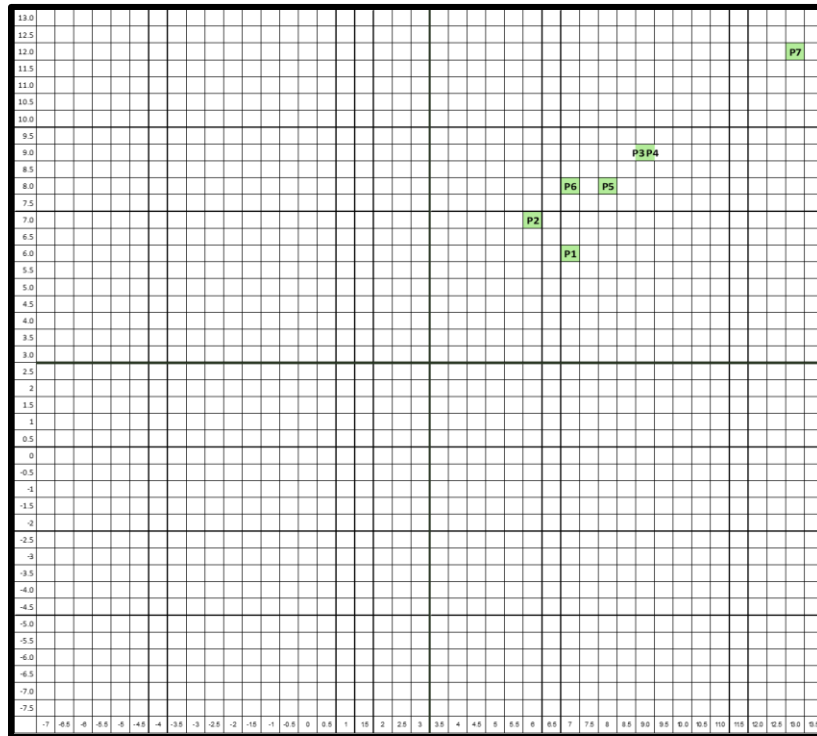
Se establecen las coordenadas de acuerdo con los resultados obtenidos como se muestra en la Tabla 2, así como los máximos y mínimos, esto determina los puntos en la gráfica.

Tabla 2 Matriz de Vester (Máximos, mínimos y coordenadas).

		Coordenadas	
		X	Y
P1		7	6
P2		6	7
P3		9	9
P4		9	9
P5		8	8
P6		7	8
P7		13	12
	Min	6	6
	Max	13	12
		3.5	3

Fuente: Elaboración propia (2019).

Por último, colocan los factores dentro de un plano, el factor que se encuentre más alejado del centro del plano (Coordenada 0,0) en la esquina superior derecha será el factor con mayor influencia sobre el problema, se muestra en la Imagen 12.



*Imagen 12. Matriz de Vester (Gráfica)*

Fuente: Elaboración propia (2019).

El punto más cercano a la esquina superior derecha es el P7 que corresponde a las entregas tempranas, esto significa que debido a que los proveedores entregan antes de que el material se necesite la compañía mantiene mayores niveles de inventario de los necesarios.

A continuación, se visualizan los factores contra las consecuencias de este problema mediante el árbol de los problemas, en este podemos apreciar claramente los efectos que se obtienen por tener un exceso de inventario (ver Imagen 13).

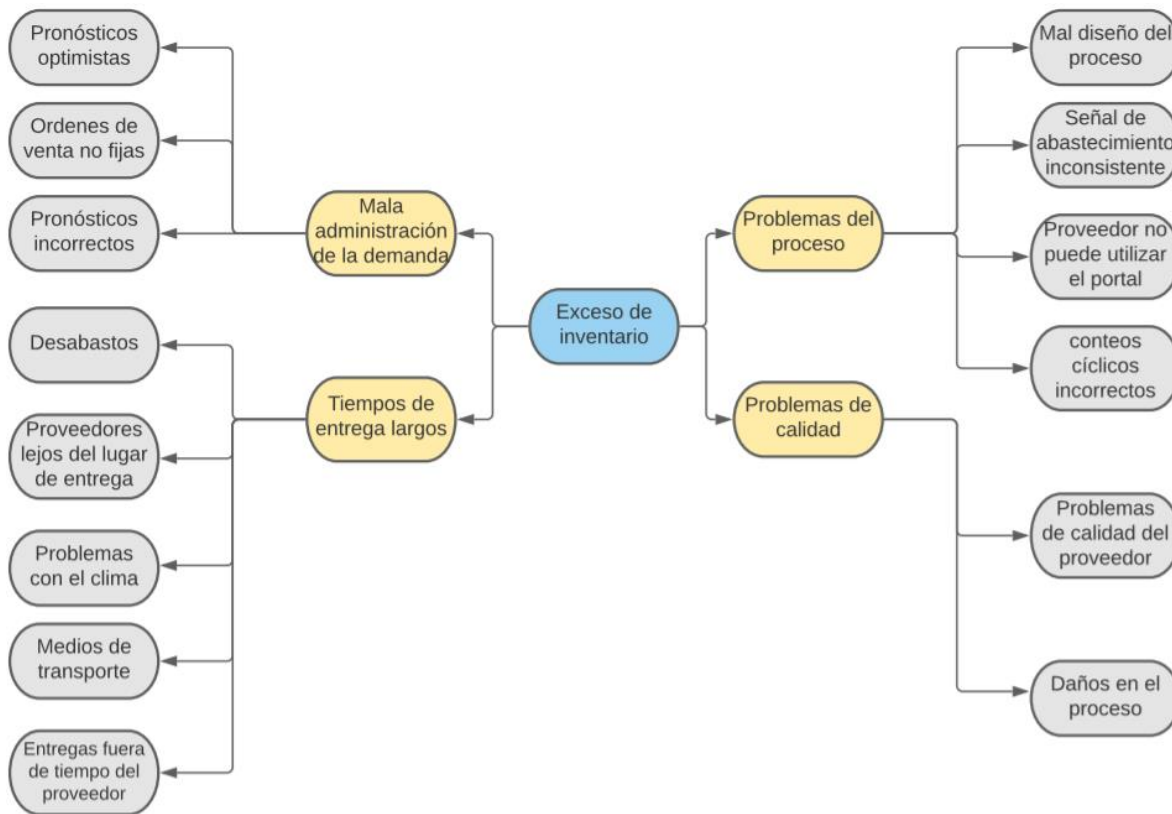


Imagen 13. *Árbol de los problemas.*

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 1.8 Objetivo

Establecer un modelo de clasificación de inventarios por medio del análisis ABC-XYZ para el control y reducción de costos, en la unidad de negocio de Aeroestructuras.

Los objetivos específicos son:

- Verificar que el modelo cumpla con los niveles de servicio establecidos por clasificación ABC-XYZ.
- Establecer nuevas políticas de inventario.
- Implementar sistema de revisión periódica para revisión de clasificaciones.

### 1.9 Preguntas de investigación

- ¿Qué efecto tiene la revisión periódica en el cambio de clasificaciones?
- ¿Qué efecto tendrá el modelo de clasificación en los costos de inventario?

- ¿Cumple el modelo de clasificación con el nivel de servicio esperados?

### 1.10 Hipótesis

- $H_0$ : La revisión periódica genera un cambio en la distribución de clasificaciones.
- $H_0$ : El modelo de clasificación tiene un efecto positivo en la reducción de costos de inventario.
- $H_0$ : El modelo de clasificación cumple con el nivel de servicio esperados.

### 1.11 Justificación

El problema se encuentra en el capital de trabajo de la empresa Collins Aerospace. Se planea terminar el año fiscal con un estimado de \$797 millones de dolares. En la Imagen 14 se muestra como la distribución actual del inventario para servicios partes de reemplazo (AMS), Nuevos productos (NPI) y producción de legado (Legacy) se encuentra por encima del inventario planeado.

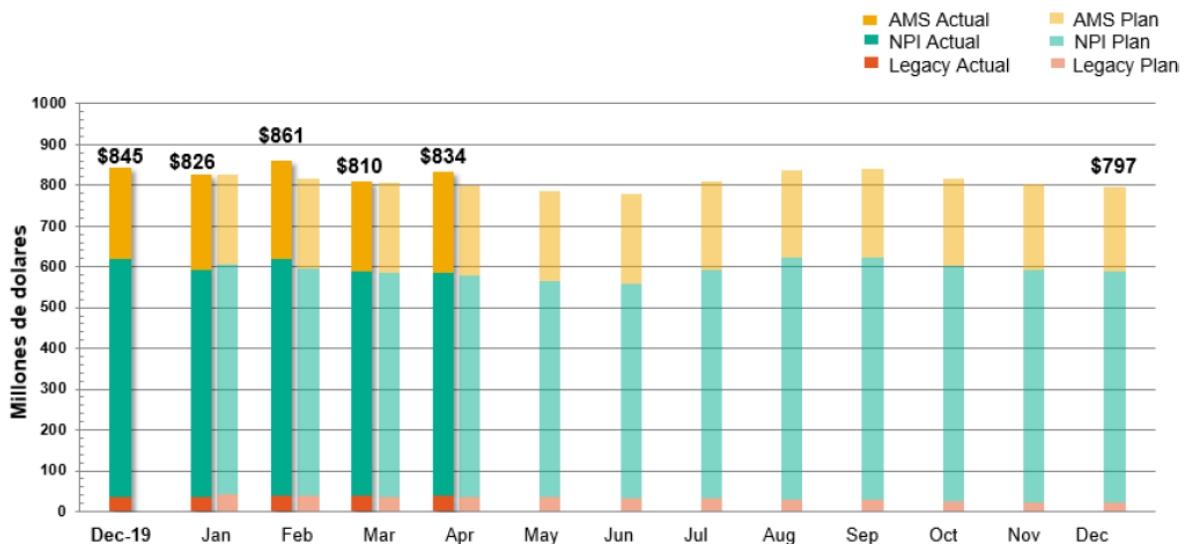
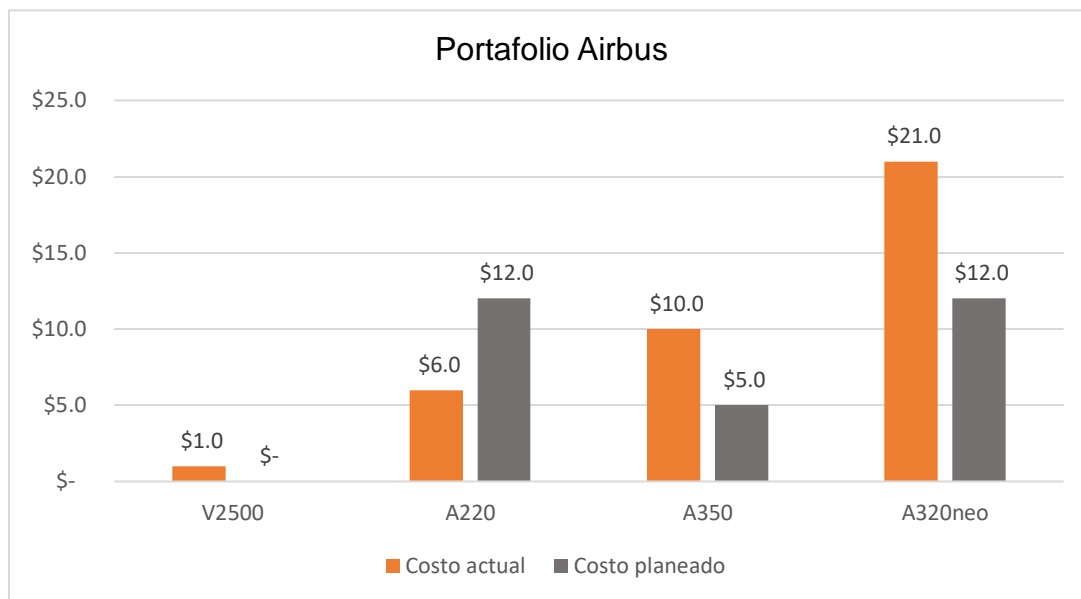


Imagen 14. Collins Aerospace distribución del inventario planeado y actual

Fuente: Collins (2020).

El portafolio de Airbus conformado por los programas V2500, A220, A350 y A320neo cuenta con un inventario de \$38 millones de dólares de los cuales \$20.1 millones dolares son excedentes de material, es decir, exceden las órdenes de

venta hacia los clientes en base a la información de abril del 2019. A continuación, se muestra un histograma de costos de inventario en la Imagen 15.



*Imagen 15. Collins Aerospace Inventario físico por programa Airbus*

Fuente: Collins (2019).

### **1.12 Estructura**

La investigación se organiza en cinco capítulos: Introducción, marcos, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones. La introducción, iniciando por el contexto en que se desarrollara la tesis de investigación, que refiere a la historia y características organizativas y tecnológicas. En segundo término, se aborda el problema partiendo de un mapeo de procesos, de una matriz de causa y efecto, así como indicadores que cuantifican el problema. Seguido se proponen los objetivos y preguntas en la investigación y finalmente se presenta la justificación.

El capítulo marcos aborda el marco normativo referido a las normas o reglas que la empresa debe cumplir para funcionar correctamente. El marco referencial en el cual se citan a diferentes autores con sus respectivas tesis, mencionando objetivos, metodología, resultados y conclusiones. El marco teórico se conforma por definiciones, sub-hipótesis de la investigación, las variables, la metodología empleada y la matriz de consistencia y finalmente la calendarización de actividades del protocolo de investigación.



El capítulo de resultados se centra en dar explicación a al tiempo de implementación, los parámetros de control, los valores de distribución del inventario, niveles de servicio y finalmente dar respuesta a las preguntas de investigación.

Finalmente, el capítulo de conclusiones y recomendaciones tiene como objetivo resumir los efectos de la administración estratégica implementada, así como recomendaciones de mejora a la administración de la cadena de suministro de la empresa.

## 2. Fundamentos teóricos

## **2. Introducción**

Se presentan los marcos de la investigación iniciando con el marco referencial el cual es elaborado con base a una revisión exhaustiva de la literatura, y por su parte, el marco teórico se centra en los conceptos claves en el proyecto.

### **2.1 Marco Teórico**

En este apartado se despliega el marco teórico recolectando información sobre los conceptos principales de este proyecto.

#### **2.1.1 Control de inventarios**

De acuerdo con el autor Bacallao (2004), el control de inventarios se realiza con la finalidad de desarrollar presupuestos, para así determinar los costos de inventario, compras u obtención, recepción, almacenaje, producción, embarque y contabilidad.

El inventario que normalmente significa una inversión considerable, por parte de la empresa debe examinarse detenidamente. La tendencia general que se refiere al nivel del inventario es la de mantenerlos bajos, pero en el inventario de partes de reemplazo se busca tener únicamente las partes adecuadas para mantener al equipo operando el mayor tiempo posible. Esto pone un freno a la cantidad de dinero invertida hacia las partes de reemplazo desde un punto de vista contable ya que no se busca la alta rotación de inventario, sino tener una respuesta rápida ante los problemas.

Los métodos organizativos para lograr estos objetivos varían dependiendo de las actividades que se realizan en las distintas entidades, y de acuerdo con la complejidad y volumen del inventario de partes de reemplazo.

Entre las técnicas más comunes para la administración y control de inventarios de partes de reemplazo, se recomiendan las siguientes (Slater, 2016).

- 1- El sistema ABC
- 2- Establecer un inventario de mínimos y máximos
- 3- El establecer puntos de reabastecimiento

#### 4- Establecimiento de procedimientos y entrenamientos

A continuación, se explica en que consiste cada uno de ellos.

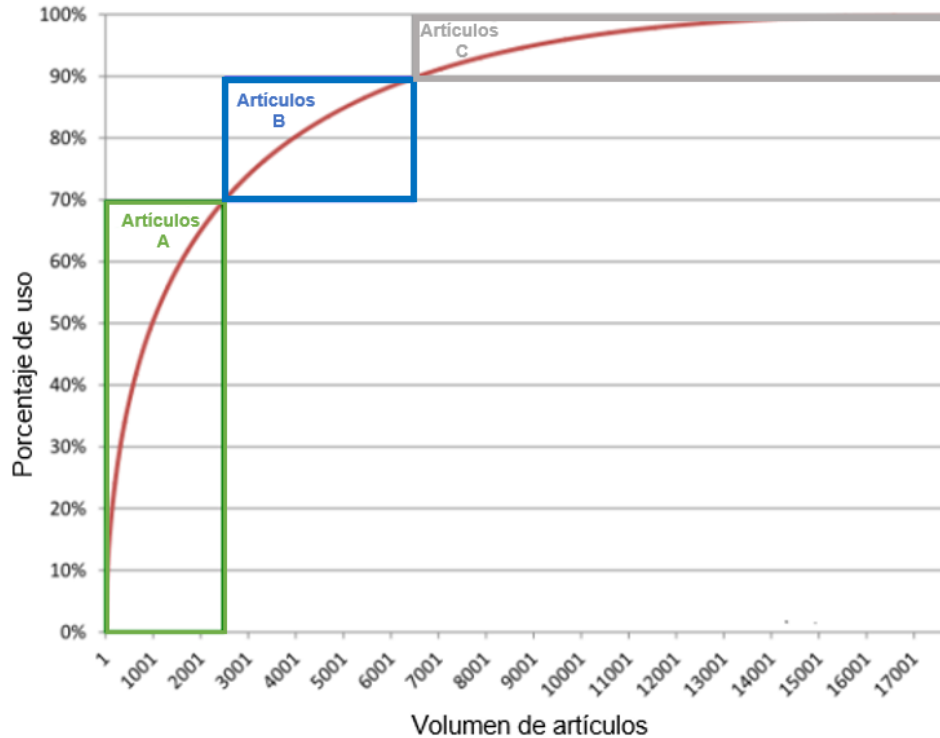
##### **2.1.2 Análisis ABC**

El análisis ABC es un método de categorización de inventario que consiste en la división de los artículos en tres categorías: A, B y C. Los artículos pertenecientes a la categoría A son los que tienen más uso, mientras que los que pertenecen a la categoría C son los menos valiosos. Este método tiene como objetivo llamar la atención de la administración hacia pocos artículos de importancia crucial, en lugar a los artículos que sean triviales (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

El método ABC establece que, al revisar el inventario, una empresa debería clasificar los artículos de A hasta C basando su clasificación en las siguientes reglas:

- Los artículos A son bienes cuyo uso es el más elevado. El principal 70-80% del consumo representa solo entre el 10 y 20% de los artículos del inventario total.
- Los artículos B son artículos de una clase intermedia, con un valor de consumo medio. Ese 15-25% de valor de consumo generalmente representa el 30% de los artículos del inventario total.
- Los artículos C son artículos con el menor valor de consumo. El 5% más bajo de consumo anual generalmente representa el 50% de los artículos del inventario total.

La Imagen 16 representa de manera gráfica el análisis ABC.



*Imagen 16. Representación del análisis ABC*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **2.1.3 Niveles mínimos y máximos**

La técnica de máximos y mínimos, también conocida como inventario fijo, consiste en establecer niveles máximos y mínimos de inventario, además de su respectivo periodo fijo de revisión. La cantidad a ordenar corresponde a la diferencia entre la existencia máxima calculada y las existencias actuales de inventario. Los pedidos que se efectúen fuera de las fechas establecidas de revisión corresponderán a aquellos que busquen reaccionar a una fluctuación anormal de la demanda de unidades que provoque que los niveles de inventario lleguen al límite mínimo antes de la revisión (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Hoy en día, existen sistemas automatizados que emplean la técnica de máximos y mínimos calculando puntos de reabastecimiento y solicitando automáticamente órdenes de compra con sus respectivas cantidades a solicitar, considerando lo siguiente:



$$COV = \frac{S}{M} \quad (1).$$

A menudo, el coeficiente de variación se expresa como porcentaje. Esto se puede representar con la siguiente ecuación (2):

$$COV = \frac{S}{M} \times 100 \quad (2).$$

La ecuación anterior puede percibirse de manera incorrecta, esto es debido a que el valor del coeficiente de variación puede exceder la unidad y, por tanto, crearía porcentajes superiores a cien, esto se puede observar en los artículos con clasificación Z.

### 2.1.5 Análisis XYZ

El análisis XYZ es un método de segmentación de inventario que consiste en la división de los artículos, X, Y y Z: Los artículos pertenecientes a la categoría X son los que tienen más predictibilidad en consumo, mientras que los que pertenecen a la categoría Z son considerados con consumo errático como se muestra en la Imagen 18. Este método tiene como criterio principal el coeficiente de variación que mide la proporción de desviación hacia la media de consumo de los artículos del inventario (Rushton, Croucher, & Baker, 2006).

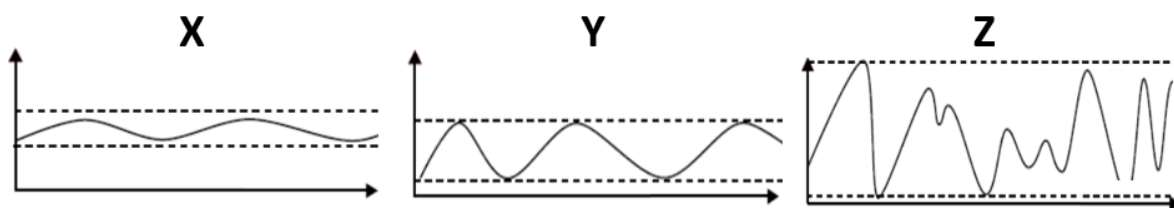


Imagen 18. Representación de análisis XYZ

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.6 Inventario de seguridad

Según el autor Fiom (2012) el inventario de seguridad es una protección contra la incertidumbre, que puede incluir variaciones en la demanda de los clientes, del

tiempo de entrega del proveedor y de la calidad de los productos que se suministran al cliente. El autor afirma que las dos medidas comunes para enfrentar la variabilidad en la oferta y la demanda de un artículo son los inventarios de seguridad y el tiempo de seguridad.

El inventario de seguridad busca asegurar un nivel de servicio, aun cuando existan variaciones en el tiempo de aprovisionamiento y variación en la demanda. Las variables necesarias para formular el cálculo del inventario de seguridad son la demanda promedio, la desviación estándar de la demanda, el tiempo de entrega promedio y la desviación estándar del tiempo de entrega.

En la Imagen 19 se muestran las variables necesarias para el inventario de seguridad y sus efectos.

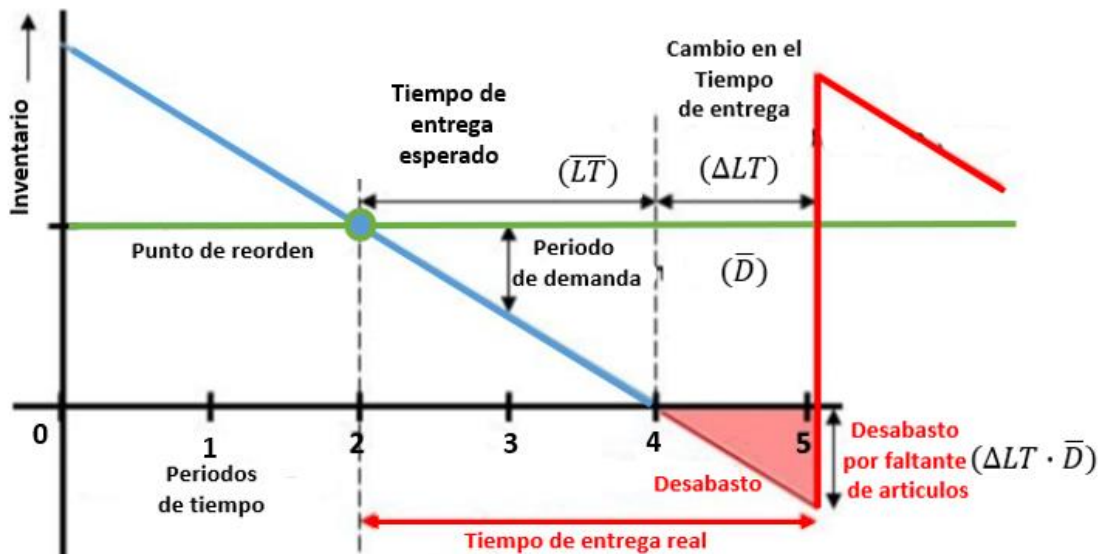


Imagen 19. Representación de inventarios de seguridad

Fuente: Elaboración propia.

Generalmente, para el cálculo del inventario de seguridad (SS) se considera el nivel de servicio ( $Z$ ) y la desviación estándar de la demanda ( $\sigma_d$ ). Esto se puede representar con la siguiente ecuación (3):

$$SS = Z \cdot \sigma_d \quad (3).$$



El uso de un inventario de seguridad variable le otorga un mayor valor a la demanda ya que considera la demanda futura como un promedio y utiliza datos históricos para definir la variación que se ha tenido en un lapso de tiempo determinado, de esta manera los niveles de inventario se ajustan a demanda futura manteniendo los niveles de servicio.

### **2.1.7 Periodo de suministro**

Según el autor Kolińska (2016) el periodo de suministro (POS) determina el número de días durante los cuales el inventario de un artículo es suficiente para el consumo promedio diario que se representa con la siguiente ecuación (4):

$$POS = \frac{Z_{sr}}{W_{rw}} \cdot d \quad (4).$$

Donde:

$Z_{sr}$  – valor de inventario promedio durante el período analizado,

$W_{rw}$  - valor de los Artículos emitidos durante el período de análisis,

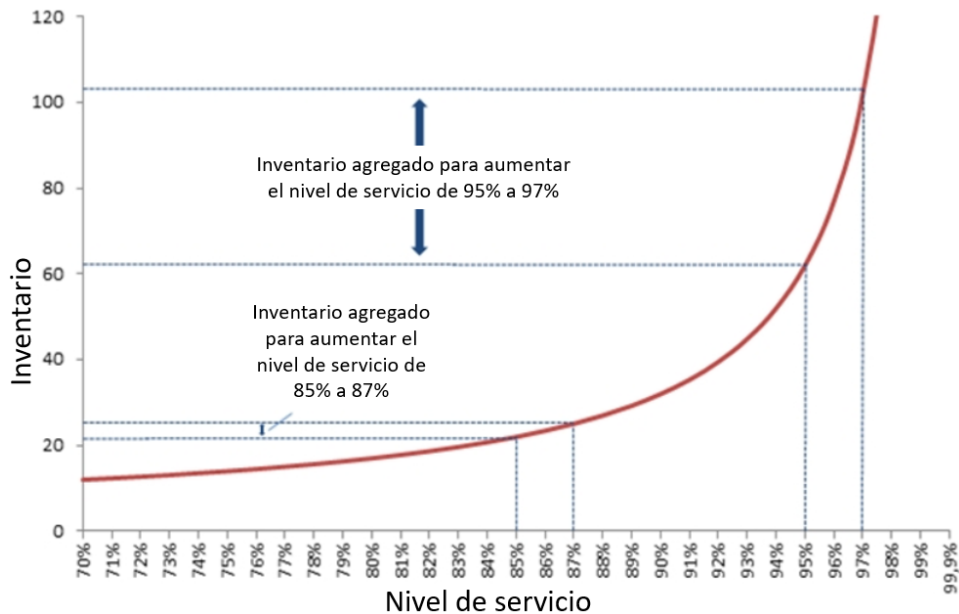
d- número de días durante el período analizado.

Sacar conclusiones correctas en base al periodo de suministro indicado requiere confrontar este valor con los tiempos de entrega de los productos, políticas de ordenes económicas y las reglas de aprovisionamiento de una empresa.

### **2.1.8 Niveles de servicio**

El nivel de servicio es la probabilidad esperada de no tener un desabastecimiento durante el próximo ciclo de reabastecimiento y, por lo tanto, también es la probabilidad de no perder ventas o parar producción. Si bien un nivel de servicio del 100% podría parecer deseable, es decir, dar servicio a todos los clientes todo el tiempo, generalmente no es una opción económicamente factible.

Lograr niveles de servicio altos es un caso de rendimientos decrecientes donde cada esfuerzo marginal adicional, es decir, inventario adicional produce rendimientos menores, es decir, se eliminan fracciones más pequeñas de desabastecimientos como se muestra en la Imagen 20.



*Imagen 20. Curva de relación nivel de servicio e inventario*

*Fuente: Elaboración propia.*

Conocer la relación que existe entre el nivel de servicio y el nivel de inventario es de suma importancia cuando se gestiona la cadena de suministro con el objetivo de satisfacer al cliente interno o externo.

### **2.1.9 Planificación de materiales**

En la función de compras, las fluctuaciones y la cantidad de demanda son factores importantes para orientar el aprovisionamiento de un artículo determinado. En el aprovisionamiento industrial como en el comercial, diferentes Artículos tienen diferentes demandas y costos. Todos estos deben administrarse en la cadena de suministros para mantener bajos los costos.

Para ello, existen métodos para cronometrar la compra de cada artículo en un punto determinado para garantizar que sus costos de inventario se mantengan bajos y satisfacer la demanda.

Según el autor Sakki (2014) los métodos de planificaciones de materiales difieren ampliamente en naturaleza del producto terminado o del tipo de producción, y según sus amplios estudios sobre la educación de cada método suele ser elegido por el tipo de demanda y valor de un artículo.

#### **2.1.10 Planificación de necesidades de material basada en demanda (DDMRP)**

La planificación de necesidades de material basada en demanda o por sus siglas en inglés DDMRP, es una metodología reciente para la planificación y gestión de inventarios que incorpora conceptos de manufactura esbelta, seis sigma y MRP.

Esta metodología permite a las organizaciones una producción alineada con la demanda real del mercado, facilitando una mejor y más rápida toma de decisiones, tanto a nivel de planificación como de ejecución.

Los fundadores de DDMRP, Ptak y Smith (2011) hacen énfasis en la importancia de mirar a las consecuencias del efecto que tiene la variabilidad a nivel sistema en un entorno de demanda cambiante, difícil de identificar, plazos de entrega cortos y mayor personalización son algunos de los factores que dificulta la gestión de la cadena de suministro ya que generan un efecto látigo.

La metodología de DDMRP está basada en cinco componentes secuenciales:

##### 1- Posicionamiento estratégico de inventario

El primer componente identificar los puntos de desacoplamiento en la explosión del listado de materiales, estos puntos estratégicos permitirán responder más rápido a la demanda.

##### 2- Perfiles y niveles de amortiguación

El segundo componente se basa en clasificar los Artículos y determinar los niveles de servicio y amortiguación de cada perfil. Estos niveles de amortiguación son aquellos que se utilizaran en los puntos de desacoplamiento.

### 3- Ajustes dinámicos

El tercer componente es realizar ajustes dinámicos en los niveles de protección en base a la demanda real del cliente, parámetros operativos, cambios en el mercado y eventos futuros conocidos. Esto permite mantener los niveles de inventario ajustados al requerimiento real de los clientes.

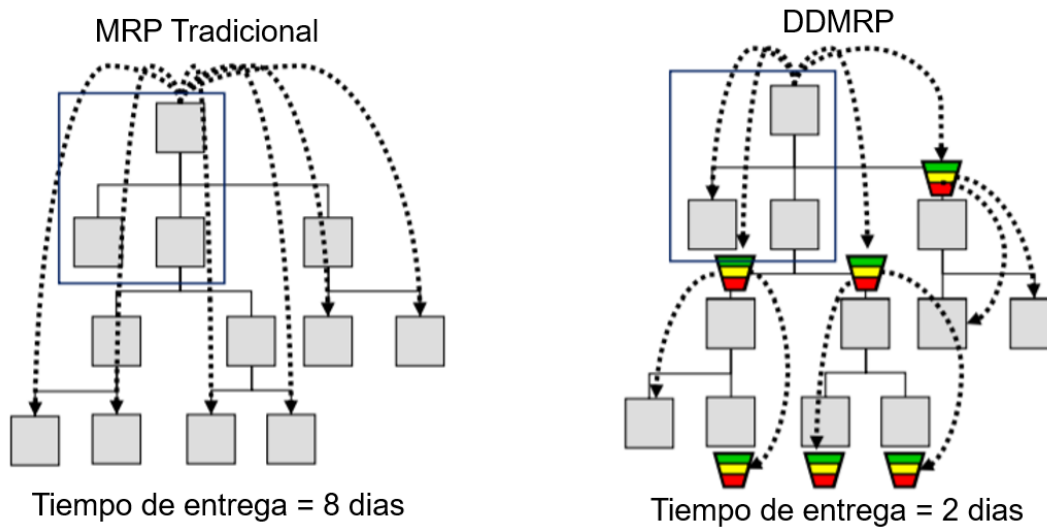
### 4- Planificación basa en la demanda

El cuarto componente es el proceso en el que las ordenes de reabastecimiento tales como órdenes de compra, ordenes de producción y transferencias de inventario son generadas en base a la demanda calculada en el tercer componente.

### 5- Ejecución visible y colaborativa

El quinto componente se enfoca en hacer visible la colaboración y ejecución de las ordenes de reabastecimiento generadas por medio de métricos y tableros digitales que ayuden a enfocar los recursos en las excepciones al plan.

A continuación, se muestra la diferencia entre un sistema tradicional MRP y el DDMRP en la imagen 21.



*Imagen 21. Desacoplamiento estratégico en DDMRP*

*Fuente: The Demand Driven Institute (2019).*

## 2.2 Marco referencial

El marco referencial está compuesto por diferentes tesis y artículos de investigación, todas están relacionadas de alguna manera con el objetivo principal de este proyecto.

### 2.2.1 Sistema de administración de inventarios en industria aeroespacial

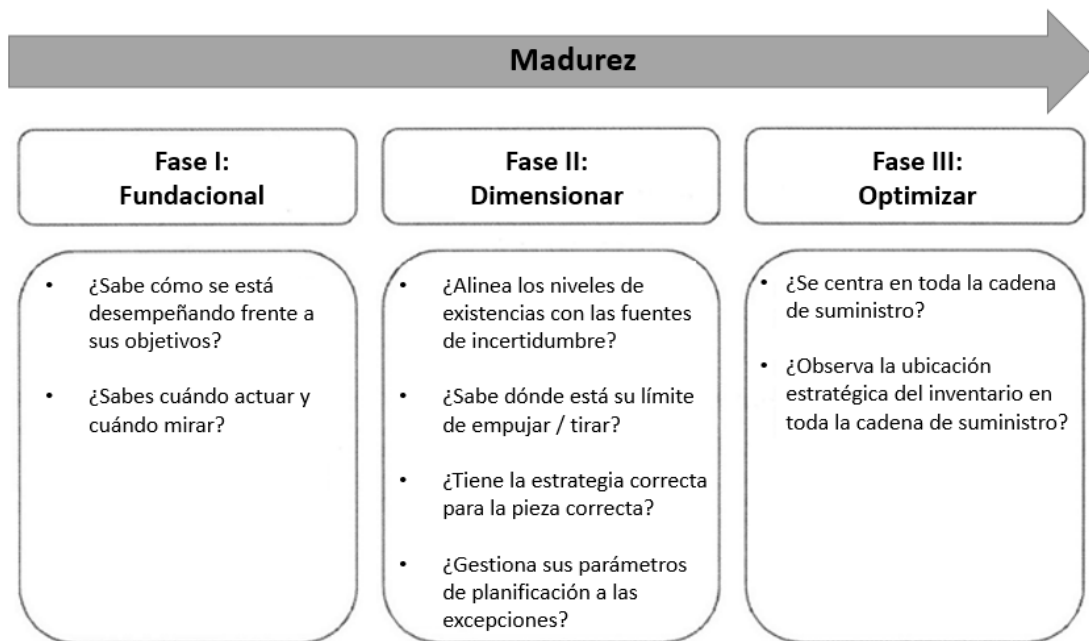
Se describe el diseño de un sistema de administración de inventarios de la planta Honeywell Aerospace, elaborado por Joseph Mauro (2008), durante el desarrollo de su tesis para obtener el título de Magister en Administración Científica del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Esta tesis establece los protocolos, plan de entrenamiento, las fórmulas y métricos para la administración del inventario. Además, también establece el plan de monitoreo de indicadores clave del desempeño.

En la fase 1, estado fundacional, se deben describir las prácticas a nivel básico, las plantas de manufactura deben conocer el desempeño del inventario y cuanto varía contra el desempeño planeado.

En la fase 2, dimensionar, en esta fase las plantas de manufactura deben calcular los inventarios de seguridad con un nivel sofisticado de análisis estadístico para alinear los niveles de inventario con la incertidumbre.

En la fase 3, optimizar, las plantas de manufactura deben darles un enfoque a todos los eslabones en la cadena de suministro e identificar riesgos con los proveedores y con los clientes finales.

En la Imagen 22 se muestran las fases para optimizar los costos de inventario.



*Imagen 22. Fases de madurez en cadena de suministros.*

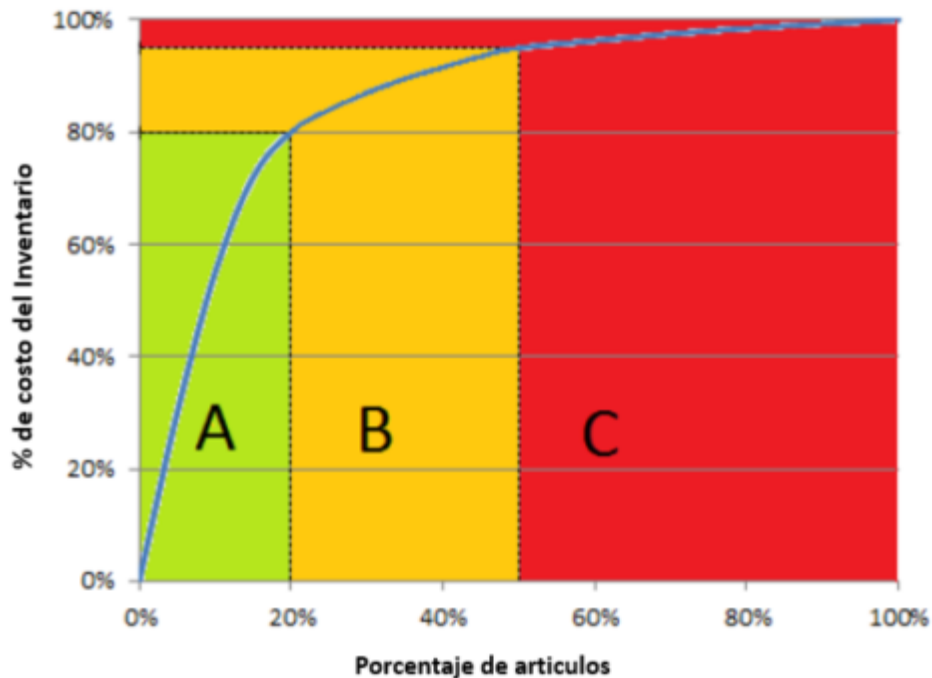
*Fuente: Mauro (2008).*

El autor Joseph Mauro (2008) demostró con este modelo de administración de inventarios tuvo un impacto positivo en los indicadores del desempeño del inventario reduciendo el costo total de \$130.37 a \$96.48 millones de dolares y simultáneamente se tuvo un incremento de 16.7% en los niveles de servicio.

### **2.2.2 Administración del inventario por el método ABC-XYZ**

En seguida se describirá el proceso administración del inventario por el método ABC-XYZ aplicado en la empresa Win Shop D.O.O por Milán Stojanovic (2017) para obtener el título de Magister en Ingeniería – en Singidunnum, Hungría.

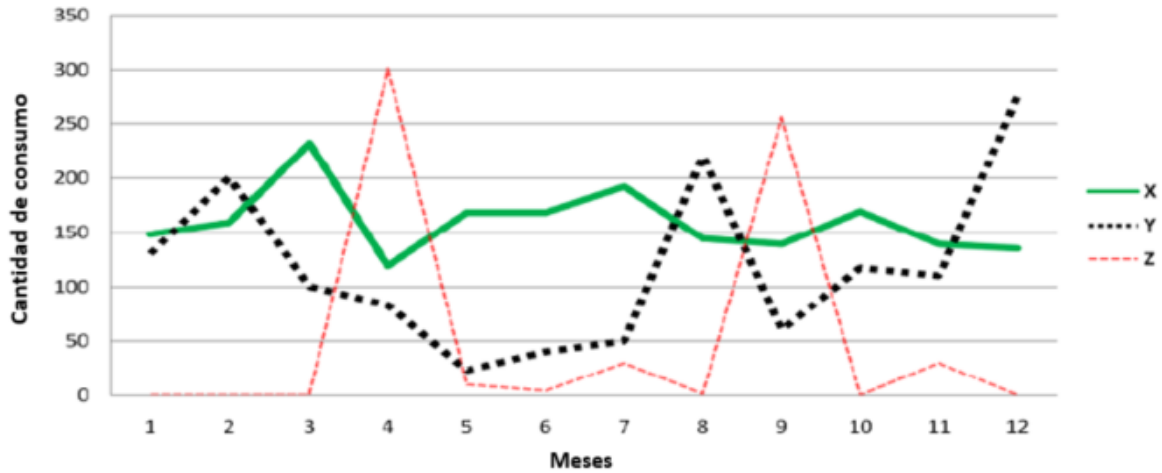
Stojanovic (2017) describe la clasificación ABC utiliza que representa la regla del 80:20, esto significa que el grupo A representa el 20% de los Artículos que contribuyen al 80% del valor total del inventario. El grupo B representa el 30% de los Artículos que contribuyen al 15% del valor total del inventario. Por último, el grupo C representa el 50% de los Artículos que contribuyen al 5% del valor total del inventario. La representación gráfica de la curva ABC se muestra en la Imagen 23.



*Imagen 23. Ejemplo de curva ABC*

Fuente: Stojanovic (2017).

El autor Stojanovic (2017) describe la clasificación XYZ que busca cuantificar la proporción de variación en la demanda de los Artículos utilizando el coeficiente de variación como métrico clave para la clasificación del artículo. Stojanovic clasifica los artículos de la siguiente manera, los Artículos con clasificación X tienen un COV menor a 50%. Los Artículos con clasificación Y tienen un COV mayor a 50% pero menos a 150%. Por último, los Artículos con clasificación Z tienen un COV mayor a 150%. Se puede apreciar el patrón de demanda por clasificación en la Imagen 24.



*Imagen 24. Patrón de demanda por clasificación XYZ*

Fuente: Stojanovic (2017).

El autor Stojanovic (2017) describe como integrar dos criterios para administrar los inventarios de materia prima los cuales son la clasificación ABC y el indicador XYZ. En la Tabla 3 se muestra un esquema de un sistema de administración del inventario por medio del método ABC-XYZ.



Tabla 3 Sistema de control de inventarios ABC-XYZ

		Contribución de valor		
		A	B	C
Variación de en la demanda	X	Valor alto Alta predictibilidad Demanda continua	Valor Medio Alta Predictibilidad Demanda Continua	Valor Bajo Alta Predictibilidad Demanda Continua
	Y	Valor alto Media predictibilidad Demanda flunctuante	Valor medio Media predictibilidad Demanda flunctuante	Alto valor Media predictibilidad Demanda flunctuante
	Z	Valor alto Baja predictibilidad Demanda irregular	Valor medio Baja predictibilidad Demanda irregular	Alto valor Baja predictibilidad Demanda irregular

Fuente: Stojanovic (2017).

El autor demuestra la aplicación de integrar la clasificación ABC y XYZ en una matriz para la definir los niveles de inventarios de seguridad. Los niveles de inventario propuestos se pueden apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4 Características de inventario por matriz ABC-XYZ

		Contribución de valor		
		A	B	C
Variación de en la demanda	X	Inventario reducido	Inventario reducido	Inventario reducido
	Y	Inventario reducido	Inventario intermedio	Inventario alto
	Z	Inventario intermedio	Inventario intermedio	Inventario alto

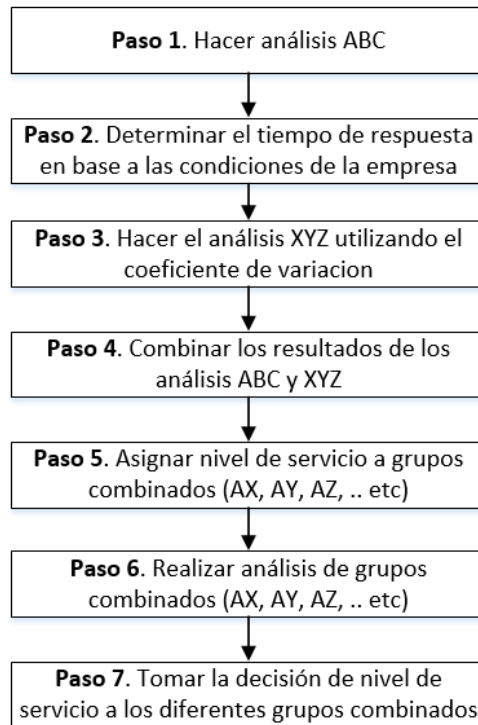
Fuente: Stojanovic (2017).

Stojanovic (2017) concluyo que las categorías AX y AY representan aproximadamente 36.37% de los Artículos que requieren mayor atención desde un punto de vista administrativo y las clasificaciones BY, BZ, CY y CZ pueden tener mayor cantidad de inventario debido a su valor y simultáneamente liberar la carga de trabajo al personal administrativo para que se utiliza en administrar Artículos de clasificación A.

### **2.2.3 Metodología para determinar los inventarios de seguridad**

En seguida se resume la metodología para determinar los inventarios de seguridad para una industria automotriz. Dicha metodología fue aplicada por Murat Colak (2019) en su tesis para obtener el título de ingeniero industrial en la universidad de Kocaeli. En esta tesis se establecen los pasos a seguir para la correcta definición de los niveles de inventario utilizando la segmentación ABC-XYZ, la cual clasifica el material en base a su valor monetario y cambios en las órdenes. Una vez combinando el análisis ABC y el XYZ el autor procede a generar los cálculos de inventarios de seguridad utilizando diferentes fórmulas dependiendo si existe o no, variación en el consumo y/o en el abastecimiento. Una vez definida la fórmula que se utilizará el autor procede a crear políticas para el control de inventario con un enfoque a los inventarios de seguridad.

En la Imagen 25 se muestra la metodología a seguir para determinar los inventarios de seguridad.



*Imagen 25. Metodología para la definición del inventario de seguridad*

*Fuente: Colak (2019).*

Como se puede apreciar, Colak (2019) considera los costos por clasificación y realiza un análisis comparativo en el nivel de servicio y costo de mantener el inventario en el paso 5.5. Esto es un punto clave a la hora de definir el nivel de servicio que la empresa quiere establecer para satisfacer la demanda y al mismo tiempo no tener inventario inmóvil por falta de esta.

#### **2.2.4 Metodología para la determinación de clasificaciones de inventario**

En este apartado se resume la metodología para determinar las clasificaciones de Artículos en una industria de telecomunicaciones. Dicha metodología fue aplicada por Tomi Juhala (2020) en su tesis para obtener el título de maestro en programación industrial en la universidad de Vaasa.

Juhala (2020) propone la integración de los análisis ABC y XYZ, pero agrega una cuarta clasificación, la clasificación D, lo cual permite separar los Artículos en base

a su valor en cuatro categorías. El autor renombra la clasificación XYZ por 123 y renombra su matriz como ABCD-123 el cual se presenta en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5 Clasificación expandida ABCD123

A1	B1	C1	D1
A2	B2	C2	D2
A3	B3	C3	D3

Fuente: Tomi Juhala (2020).

El autor basa su propuesta en enfocar a los recursos de compras y planeación a los Artículos de mayor valor que representan el 10% de la población de números de parte para tener mayor control de estos Artículos y menos excedentes. También propone un sistema de automatización de compras en los Artículos de alto volumen y bajo valor que reduzca la atención requerida por los recursos de compradores.

La tesis concluye con la implementación del sistema de automatización que reduce la atención requerida por los compradores en las clasificaciones C1, C2, D1 y D2 debido a su baja volatilidad y bajo valor que representan el 67% de los Artículos.

### **2.2.5 Optimización de políticas para el control de inventarios**

En esta sección se describirá el proceso de optimización de la política de control de inventarios en la empresa Hortec Electronics por Anouk Scholten (2020) para obtener el título de Magister en Ingeniería – en Oldenzaal, Holanda.

Scholten (2020) propone reducir el valor monetario del inventario equivalente a €1,075,000 por medio de la optimización de políticas de inventario que proporcionen un proceso de toma de decisiones más efectivo para el equipo de compras.

Scholten al igual que Dhoka (2013) y Trubchenko (2020) propone la aplicación del método ABC-XYZ para la clasificación del inventario, pero utiliza cuatro políticas de

compras las cuales son revisión continua con lote fijo (s, Q), revisión continua con lote variable (s,S), revisión periódica con lote fijo (R,s,Q), y revisión periódica con lote variable (R,S). Las políticas de inventario fueron aplicadas a cada clasificación ABC-XYZ como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Política por categoría

	X	Y	Z
A	(R,s,Q)	(s,S)	(s,S)
B	(R,S)	(s, Q)	(s, Q)
C	(s, Q)	(s, Q)	(s, Q)

Fuente: Anouk Scholten (2020).

La implementación de las políticas propuestas en puede llevar a un ahorro del €250,000 lo cual equivale al 23.2% del valor monetario del inventario y a la reducción de €6,000 costos por ordenar material anualmente.

### 2.2.6 Aplicación de clasificación de inventarios multicriterio

En este apartado se describe la aplicación de clasificación de inventario a un gran sistema de gestión de inventarios para la rama militar naval norte americana por Benjamin Isaac May (2017). Este artículo establece una técnica de priorización de inventario de múltiples criterios.

A diferencia de los autores Sikorova (2018), Swastomo (2020) y Plinta (2012) que utilizan técnicas tradicionales de clasificación ABC-XYZ, May (2017) propone un modelo de optimización multicriterio ponderado no lineal o por sus siglas en ingles WNO obteniendo resultados que superan los objetivos de rendimiento que se obtendrían con las técnicas tradicionales.

May (2017) propone seis multicriterio para clasificar el inventario de forma que se optimice el costo asociado con cada clasificación al igual que los faltantes, en la Tabla 7 se muestran los criterios ponderados.

Tabla 7 Política por categoría

Clasificación	Criterio	Ponderación
1	Criticidad	0.491
2	Valor de demanda	0.491
3	Requisiciones	0.491
4	Varianza de requisición	0.491
5	Problema de adquisición variable	0.131
6	Posibles problemas de adquisición	0.131

Fuente: Benjamin Isaac May (2017).

El modelo de clasificación WNO que May (2017) propone concluye con numerosos beneficios tales como la flexibilidad de optimizar bajo multicriterio personalizables, asignación de presupuestos a números de partes críticos y la automatización de compras para un gran número de partes.

### 2.3 Teoría propuesta

En base a lo reportado en la literatura y las últimas tendencias que resuelven problemáticas similares a las de este manuscrito, se propone resolverlo el problema utilizando un modelo de clasificación de inventarios. Para esto se propone una revisión periódica para el aseguramiento de integridad de datos, es decir, asegurar que las decisiones tomadas para el inventario sean las adecuadas.

La integridad de datos se compone estableciendo una base de datos que considere almacene el consumo de un número de parte en una orden de producción, la demanda cargada en el sistema para los siguientes tres años, el análisis de ciclo de vida el cual define en qué etapa del ciclo de vida se encuentra un número de parte, y finalmente se cuantificara el riesgo que tiene un proveedor para suministrar los números de parte comprados.

Una vez asegurada la integridad de datos se utilizará un modelo de clasificación de inventario que segmente los números de parte utilizando el método ABC/XYZ, la clasificación ABC difiere en la literatura mencionada ya que se calculará el valor de contribución en base a la demanda futura y no en un historial de consumo. Esto asegurara que los números de parte estén clasificados en base a demanda fija de los próximos seis meses y no a pronósticos de demanda. La clasificación XYZ se calculará en base al historial de consumo hacia una orden de producción de los últimos 6 meses, esto permitirá identificar el consumo real en comparación al consumo planeado resultado en la clasificación de predictibilidad para un número de parte.

Después de que el inventario ha sido clasificado en base a su contribución de valor y predictibilidad se procede a determinar la estrategia de reposicionamiento más adecuado a su clasificación. Esto es importante ya que se asegura el flujo eficiente de inventario a través de la cadena de suministros y se definen los costos de almacenamiento más adecuados para cada clasificación.

Una vez determinada la estrategia de reposicionamiento se procederá a definir los niveles de servicio para cada una de las clasificaciones, en base a la literatura se pretende proponer niveles de servicio que sean mayores en partes de bajo costo equivalentes al 80% y bajar los niveles de servicio en partes de costo mayor equivalentes al 20% y utilizar la atención de los compradores para expeditar y administrar de manera más controlada estas partes, posteriormente se utilizara el nivel de servicio para mitigar desabastos en las partes requeridas en una orden de producción.

Una vez determinado el nivel de servicio también se integrará un inventario de seguridad para mitigar el riesgo que tiene un proveedor, esto asegurara que se mantenga inventario de seguridad para cubrir la variación en el consumo al igual que el riesgo que tenga un proveedor para suministrar partes en la cadena de suministro.

Finalmente se establecerán políticas de inventario que aseguren que el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) mantenga los parámetros más adecuados en base a la clasificación ABC/XYZ, riesgo de proveedores, estrategias de reposicionamiento y niveles de servicio. También se implementará un sistema de revisión periódica asegurando que los datos y las clasificaciones se mantengan actualizadas cada tres meses. Esta frecuencia de revisión permitirá que las partes se ajusten a la demanda y variación asegurando que el cambio no sea más rápido que los periodos de tiempo fijo establecidos en los contratos con los proveedores y reducir el efecto látigo en la cadena de suministros.



### 3. Desarrollo de la propuesta

### 3. Desarrollo de la propuesta

Este capítulo presenta el conjunto de métodos ordenados sistemáticamente que resulta en la solución del problema. Se presentan las hipótesis, se describen las variables, se presenta la metodología a seguir, se propone un modelo clasificación de inventario y la frecuencia de revisión periódica.

#### 3.1 Hipótesis

La hipótesis general postula que el modelo de clasificación de inventarios permitirá predecir y controlar la relación entre el comportamiento del costo de inventario y nivel de servicio.

- El modelo se relaciona con la identificación de la variable a considerar.
- El modelo se relaciona con el diseño de un modelo de clasificación de inventario
- El modelo se relaciona con la validación del modelo

#### 3.2 Variables

Se pueden evaluar las variables del problema en la Tabla 8. Para determinar las variables se realizó un análisis del problema y la posible solución:

Tabla 8 Variables

Variable dependiente	Variables independientes	Variables controladas	Variables intervinientes
Costo de inventario	Demanda  Nivel de servicio	Parámetros de amortiguación (inventario de seguridad, días de seguridad, Rango mínimo de cobertura.	Calidad de proveedor  Tiempos de transito

Fuente: Elaboración propia (2021)

Las variables intervinientes son muy importantes ya que, al no poder controlar la cadena de suministro de los proveedores ni los tiempos de procesamiento en los puertos se puede tener un impacto substancial en los niveles de servicio a las líneas de ensamble y por consecuencia pérdidas monetarias.

### 3.3 Metodología

Se enlistan la metodología a implementar para determinar la mejor forma para controlar y predecir el costo del inventario y los niveles de servicio. La metodología por utilizar se representa en la Imagen 26:



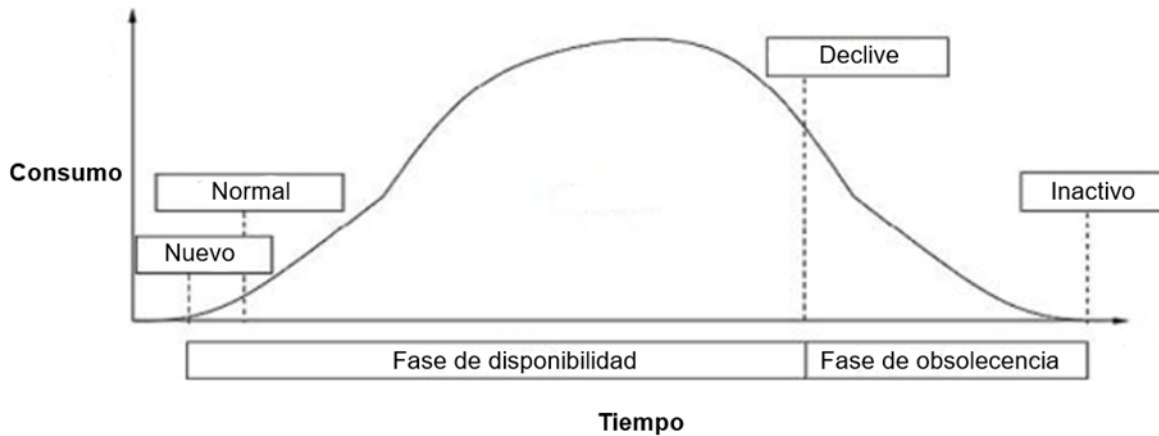
Imagen 26. Metodología

Fuente: Elaboración propia (2021).

#### 3.3.1 Integridad de datos

La integridad de los datos es la garantía de la precisión y consistencia de los datos para la buena toma de decisiones, es por lo que se requiere tener un sistema que permita el almacenamiento, procesamiento y extracción los datos.

Para la integridad de datos se requiere asegurar que los números de parte estén identificados en su etapa de ciclo de vida de acuerdo con su demanda y consumo, con el propósito de identificar las cuatro diferentes etapas del ciclo de vida de un numero de parte, como se muestra en la Imagen 27.



*Imagen 27. Etapas del ciclo de vida de un numero de parte*

Fuente: Elaboración propia (2021).

A continuación, se describe la lógica del ciclo de vida para un numero de parte:

- Nuevo: La primera demanda de un numero de parte se encuentra en los últimos 6 meses y no es una revisión de un numero de parte
- Normal: El número de parte se ha consumido en los últimos 3 meses
- Declive: El número de parte no ha sido consumido en los últimos 3 meses
- Inactivo: El número de parte no ha sido consumido en los últimos 6 meses, no tiene demanda y no tiene inventario.

### **3.3.1.1 Clasificación del riesgo de proveedores**

El siguiente paso es clasificar a los proveedores en base al riesgo que representación a la compañía, por ello se decidió crear un sistema de recopilación de datos para medir el desempeño de los proveedores y clasificarlos en base al riesgo, es por esto por lo que se deben evaluar los siguientes indicadores.

#### **3.3.1.1.1 Porcentaje de entregas a tiempo**

El primer indicador para evaluar es el porcentaje de entregas a tiempo de los últimos seis meses, para esto se utiliza dos sistemas los cuales son el portal de proveedores y el sistema ERP llamado SAP utilizado por Collins Aerospace. El sistema ERP hace

el desglose de los requerimientos netos de materiales y es transmitido a los proveedores por medio del portal de proveedores.

En el portal se pueden evaluar las fechas de entrega de cada uno de los materiales, si el material se encuentra dentro del horizonte de envío entonces el proveedor genera una notificación de envío anticipada la cual debe ser antes de día del requerimiento del material. En situaciones en que las fechas de llegada al muelle de recepción de material sean mayor a la fecha del requerimiento neto se considera un envío tardío.

El porcentaje de entregas a tiempo (OTD) se mide como la diferencia de entregas totales (TD) menos las entregas tardías (LD) entre las entregas totales de los últimos seis meses como se muestra en la ecuación 5.

$$OTD = \frac{TD-LD}{TD} \times 100 \quad (5).$$

Los proveedores son clasificados como riesgo alto si el indicador es menor al 60%, riesgo intermedio si se encuentre entre el 60% y 85%, y por último de riesgo bajo si es mayor al 85%.

#### **3.3.1.1.2 Defectos de calidad**

El segundo indicador para evaluar son los defectos de calidad recibidos por el proveedor. El departamento de calidad en Collins Aerospace se encarga del aseguramiento de la calidad de las suministradas por los proveedores, así como las inspecciones de cumplimiento de calidad en base al sistema de administración de la calidad para industrias aeroespaciales AS9100.

En el caso de que un envío proveniente de un proveedor no cumple con los estándares de calidad establecidos entonces se considera como un defecto de calidad el cual es documentado en el sistema ERP.

Los defectos de calidad son medidos en base al historial del proveedor de los últimos seis meses, si los defectos de los últimos seis meses son mayores a 4

entonces se considera como un proveedor de riesgo alto, si se encuentra dentro de 1 a 3 defectos se considera un proveedor de riesgo intermedio y en los casos que no se tengan defectos de calidad entonces se considera como proveedor de riesgo bajo.

#### **3.3.1.1.3 Porcentaje de compromiso a entregas**

El tercer indicador para evaluar es el porcentaje de compromiso a entregas, para este indicador se utiliza la base de datos del portal de proveedores el cual recibe los requerimientos netos de aproximadamente 2 a 3 años en el futuro y permite al proveedor comprometerse a la entrega de dichos requerimientos.

Si el proveedor tiene la capacidad operativa para el cumplimiento de dichos requerimientos entonces pueden aceptar los requerimientos netos en el portal de proveedores y/o hacer cambios a las fechas de entrega en caso de no poder comprometerse.

El porcentaje de compromiso a entregas se mide calculando la cantidad de requerimientos a los cuales el proveedor se compromete a entregar (CR) entre la cantidad de requerimientos totales (TR) en el portal de proveedores como se muestra en la ecuación (6).

$$\text{compromiso a entregas} = \frac{CR}{TR} \times 100 \quad (6).$$

Los proveedores son clasificados como riesgo alto si el indicador es menor al 50%, riesgo intermedio si se encuentre entre el 50% y 80%, y por último de riesgo bajo si es mayor al 80%.

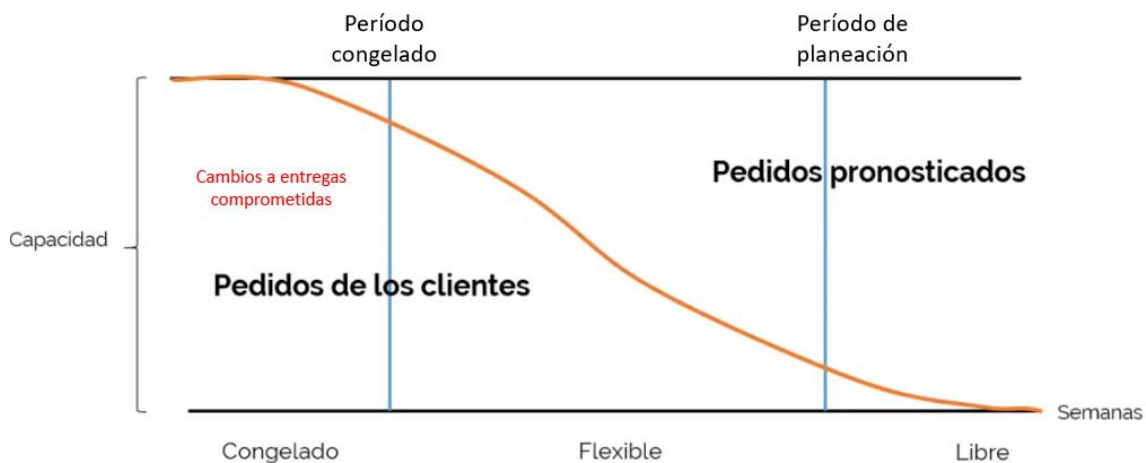
#### **3.3.1.1.4 Tiempo de entrega**

El cuarto indicador para evaluar es el tiempo de entrega, para medir este indicador se debe evaluar la cantidad de días requeridos para que un proveedor pueda suministrar una parte desde su manufactura hasta la llegada al muelle de recepción, este indicador puede ser encontrado en el contrato de largo plazo o la orden de compra en el sistema de ERP.

Los proveedores son clasificados de riesgo alto si el tiempo de entrega es mayor a 180 días, si el tiempo de entrega se encuentra entre 70 y 180 días entonces se considera un proveedor de riesgo intermedio y finalmente si el tiempo de entrega es menor a 70 días el proveedor se considera de riesgo bajo.

### 3.3.1.1.5 Cambios en entregas dentro del periodo congelado

El quinto indicador para evaluar son los cambios en entregas dentro del periodo congelado, para esto se debe considerar cual es el periodo de tiempo congelado definido en el contrato con el proveedor el cual se puede encontrar en el sistema ERP. Posteriormente el portal de proveedores almacena la información de compromiso a entregas y mide los cambios a las fechas de entrega previamente comprometidas y que se encuentran dentro del periodo congelado como se muestra en la Imagen 28.



*Imagen 28. Periodos de planeación*

Fuente: Elaboración propia (2021).

Los cambios en entregas dentro del periodo congelados son medidos en base al historial del proveedor de los últimos seis meses en el portal de proveedores, si los cambios de los últimos seis meses son mayores a 4 entonces se considera como un proveedor de riesgo alto, si se encuentran dentro de 1 a 3 cambios se considera un proveedor de riesgo intermedio y en los casos que no se tengan de cambios

entonces se considera como proveedor de riesgo bajo ya que sigue el plan de aprovisionamiento de requerimientos netos.

#### **3.3.1.1.6 Porcentaje de inventario de seguridad contractual**

El sexto indicador para evaluar es el porcentaje de inventario de seguridad (SS) contractual, este indicador mide la cantidad de inventario de seguridad que el proveedor debe mantener disponible para satisfacer fluctuaciones en la demanda y se define en el contrato con el proveedor, este indicador se puede evaluar en el sistema ERP y en el portal de proveedores.

El proveedor esta contractualmente obligado a reportar su nivel de inventario de seguridad al principio de cada semana por medio del portal de proveedores, el portal de proveedores compara la cantidad de inventario reportada (SSi) contra la cantidad de inventario acordada en el contrato (SSc) y la reporta en porcentaje como se muestra en la ecuación (7).

$$SS = \frac{SSi}{SSc} \times 100 \quad (7).$$

Los proveedores son clasificados como riesgo alto si el indicador es menor al 60%, riesgo intermedio si se encuentra entre el 60% y 85%, y por último de riesgo bajo si es mayor al 85%.

#### **3.3.1.1.7 Indicadores de clasificación del riesgo del proveedor**

Una vez obtenidos los métricos mencionados anteriormente, se procede a ponderar cada uno de ellos para la obtener una clasificación global del proveedor. En la Tabla 9 se muestra la clasificación del riesgo que representa un proveedor.



Tabla 9 Clasificación del riesgo del proveedor

Categoría	Métrico	Riesgo Bajo	Riesgo Intermedio	Riesgo Alto	Ponderación
Riesgo de proveedor	Puntaje	$\geq 85\%$	$< 85\%$ y $\geq 60\%$	$< 60\%$	20
Entregas a tiempo	Porcentaje de entregas a tiempo en los últimos 6 meses	$\geq 95\%$	$< 95\%$ y $\geq 85\%$	$< 85\%$	15
Defectos de calidad	Número de defectos en los últimos seis meses	0	1-3	4+	15
Compromiso a entregas	Porcentaje de compromiso a entregas	$\geq 80\%$	$< 80\%$ y $\geq 50\%$	$< 50\%$	15
Tiempos de entrega	Tiempos de entrega en días	$< 70$ días	$> 70$ días y $< 180$ días	$> 180$ días	15
Cambios en entregas durante periodo congelado	Número de cambios durante periodo congelado	0	1-3	4+	10
Inventario de seguridad contractual	Porcentaje de Inventario de seguridad contractual	$\geq 85\%$	$< 85\%$ y $\geq 60\%$	$< 60\%$	10

Fuente: Elaboración propia (2021).

Posteriormente es necesario tener la información de consumo neto, demanda y costo actual de los números de parte accesibles para la segmentación de los números de parte los cuales serán descritos en la siguiente sección.

### **3.3.2 Segmentación**

La segmentación de los números de parte es un punto clave en la administración del inventario en la que se prioriza el inventario con un enfoque estadístico, es por esto que se debe realizar un análisis ABC considerando la demanda esperada de los próximos 6 meses de un número de parte multiplicada por el costo unitario, esto nos permite categorizar en base a la contribución de valor al negocio. En seguida, se describen los porcentajes de contribución para cada clasificación:

- Los Artículos de clasificación A representan el 85% del valor de contribución de un programa
- Los Artículos de clasificación B representan el 10% del valor de contribución de un programa
- Los Artículos de clasificación C representan el 5% del valor de contribución de un programa

El siguiente paso es llevar a cabo el análisis XYZ en base al consumo neto de un artículo de los últimos 6 meses al nivel planta de manufactura. A continuación, se describen las clasificaciones en base al coeficiente de variación:

- Los Artículos de clasificación X representan un coeficiente de variación menor a .5
- Los Artículos de clasificación Y representan un coeficiente de variación mayor a .5 y menos a 1.5
- Los Artículos de clasificación Z representan un coeficiente de variación mayor a 1.5

En la Imagen 29 se muestra una representación visual del análisis ABC y XYZ.

### Contribución de valor



### Variación de consumo

Imagen 29. Análisis ABC y XYZ

Fuente: Elaboración propia (2021).

Una vez realizada la segmentación de los números de parte en base a su contribución de valor se combinan las dos clasificaciones creando la clasificación ABC/XYZ que se describe en la Tabla 10:

Tabla 10 Clasificación ABC/XYZ

		Contribución de valor		
		A	B	C
Predictibilidad	X	(AX) Valor alto Predictibilidad Alta	(BX) Valor Medio Predictibilidad Alta	(CX) Valor Bajo Predictibilidad Alta
	Y	(AY) Valor alto Predictibilidad Media	(BY) Valor medio Predictibilidad Media	(CY) Alto valor Predictibilidad Media
	Z	(AZ) Valor alto Predictibilidad Baja	(BZ) Valor medio Predictibilidad Baja	(CZ) Alto valor Predictibilidad Baja

Fuente: Elaboración propia (2021).

La clasificación ABC/XYZ servirá como base para definir las estrategias de reabastecimiento, niveles de servicio, la atención esperada por compradores y la administración de los costos del inventario.

### **3.3.3 Estrategia de reabastecimiento**

La estrategia de reabastecimiento es importante ya que asegura el flujo eficiente de inventario a través de la cadena de suministro y controla los costos asociados a los Artículos. Las estrategias de reabastecimiento se definen en base a los siguientes criterios:








- Clasificación ABC/XYZ
- Contratos a largo plazo
- Capacidad del proveedor de administrar inventario
- Etapa del ciclo de vida
- Locación domestica e internacional
- Indicador de serialización de los números de parte
- Madurez del proveedor
- Disposición del proveedor a realizar planeación de largo plazo

Las estrategias de reposición disponibles en el sistema ERP junto con el portal de proveedores son las siguientes:

- Planeación determinística
  - MRP PD: Planificación bajo demanda
  - MRP PD con inventario de seguridad estático
  - MRP PD con inventario de seguridad dinámico
  
- Planeación probabilística
  - Kanban clásico
  - MRP V1: Sistema Min-Max manual
  - MRP V2: Sistema Min-Max automático
  - Monitor de control de entrega (DCM): Sistema Min-Max administrador por el proveedor

Para la selección de la estrategia de reposición en base a los criterios establecidos se generó una matriz de decisión. En seguida, se presenta la matriz de las estrategias de reposición en base al análisis ABC/XYZ en la Tabla 11.

Tabla 11 Estrategias de reabastecimiento

	 X	 Y	 Z	 N
 A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD con SS dinámico</li> <li>• Monitor de control de entrega (DCM)</li> <li>• Kanban clásico</li> <li>• MRP V2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD con SS dinámico</li> <li>• Monitor de control de entrega (DCM)</li> <li>• Kanban clásico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD</li> <li>• PD con SS estático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD</li> </ul>
 B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD con SS dinámico</li> <li>• Monitor de control de entrega (DCM)</li> <li>• Kanban clásico</li> <li>• MRP V2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD con SS dinámico</li> <li>• Monitor de control de entrega (DCM)</li> <li>• MRP V1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD</li> <li>• PD con SS estático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD</li> </ul>
 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD con SS dinámico</li> <li>• Monitor de control de entrega (DCM)</li> <li>• Kanban clásico</li> <li>• MRP V2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD con SS dinámico</li> <li>• Monitor de control de entrega (DCM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD</li> <li>• PD con SS estático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Al utilizar la estrategia de reabastecimiento de planeación bajo demanda se planea utilizar junto al indicador de periodo de suministro o POS por sus siglas en inglés. El periodo de suministro calcula la demanda futura en días de trabajo futuros y libera una orden de compra al proveedor para su reabastecimiento, los días de periodos de suministro fueron definidos de la siguiente forma:

- Artículos de clasificación A tendrán un periodo de suministro de 5 días
- Artículos de clasificación B tendrán un periodo de suministro de 10 días
- Artículos de clasificación C tendrán un periodo de suministro de 20 días

El rango del periodo de suministro mira hacia el futuro y dicta la cantidad de inventario que se mantendrá para cubrir la demanda en días de trabajo, con las clasificaciones se pretende rotar de manera más frecuente los Artículos de mayor valor y al mismo tiempo priorizar el tiempo de los compradores. Los Artículos A equivalen al 20% de números de parte y el 85% del valor de contribución al negocio,

los Artículos C que equivalen al 80% de números de parte y al 20% del valor de contribución al negocio, de esta manera se prioriza la atención del reabastecimiento como se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12 Periodos de suministro

Periodo de suministro			
	X	Y	Z
A (85%)	5	5	5
B (15%)	10	10	10
C (5%)	20	20	20

Fuente: Elaboración propia (2021).

Una vez definido el periodo de suministro el sistema MRP intentara mantener un inventario promedio utilizando el factor de predictibilidad del historial de consumo (línea roja) y extrapolándolo a una demanda futura (línea verde) con la consideración de que fluctúe dentro de un rango definido por el coeficiente de variación (línea amarilla y naranja) como se muestra en la Imagen 30.

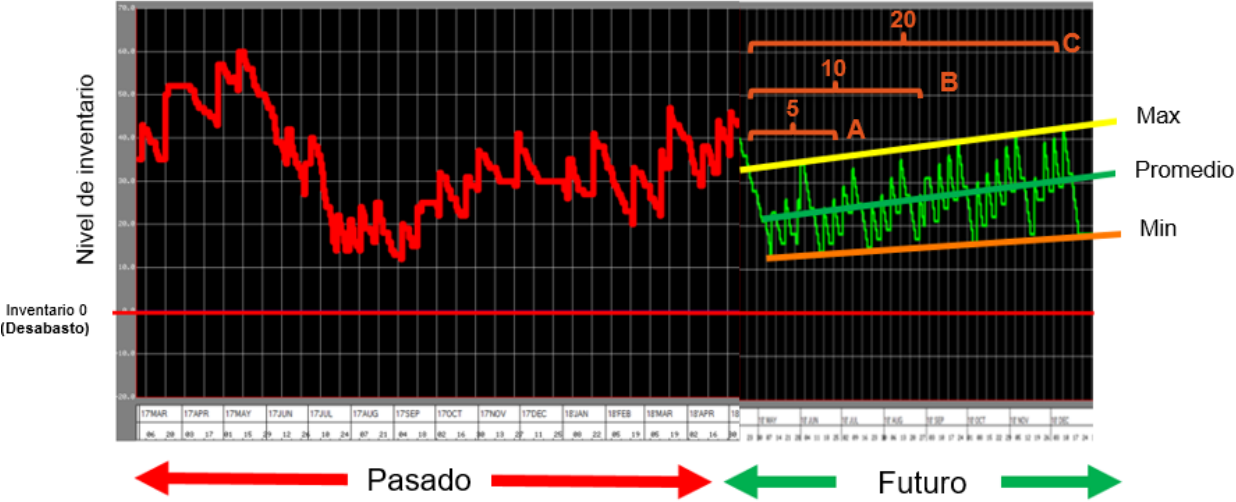


Imagen 30. MRP con periodo de suministro

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 3.3.4 Optimización de inventario

En la etapa de optimización se debe dar un enfoque científico a la definición de los niveles de inventario óptimos y definir los niveles de servicio adecuados para la organización ya que influyen de manera directa y exponencial en los costos de mantener inventario.

Los niveles de servicio que se establecerán para la empresa Collins Aerospace fueron definidos en base a la clasificación ABC/XYZ y se muestran en la Tabla 13:

Tabla 13 Niveles de servicio por clasificación ABC/XYZ

Niveles de servicio			
	X	Y	Z
A	85%	90%	85%
B	90%	92%	85%
C	92%	94%	85%

Fuente: Elaboración propia (2021).

El enfoque del nivel de servicio es reducir la cantidad de inventario de seguridad donde existe predictibilidad (X) y aumentar la atención que se presta a la administración de las piezas de alto valor (A). También se planea aumentar los niveles de servicio en piezas de bajo valor (C) con predictibilidad media-baja (Y-Z) ya que su inversión es mínima y permite a los compradores concentrarse en parte que tiene mayor impacto financiero.

El siguiente paso es integrar el riesgo del proveedor a el cálculo del inventario de seguridad, con la clasificación del riesgo del proveedor descritos en la Tabla 6 se planea combinar con los indicadores ABC/XYZ para definir el inventario de seguridad asociado al riesgo que atribuye el proveedor, a continuación, se presentan las tres categorías de riesgo combinada con el indicador ABC/XYZ en las Tablas 14,15 y 16 respectivamente:

Tabla 14 Días de inventario para proveedor de riesgo bajo

Proveedor de riesgo bajo			
	X	Y	Z
A	0	1	0
B	1	3	0
C	3	5	1

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 15 Días de inventario para proveedor de riesgo medio

Proveedor de riesgo medio			
	X	Y	Z
A	1	3	0
B	3	5	1
C	5	7	3

Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla 16 Días de inventario para proveedor de riesgo alto

Proveedor de riesgo alto			
	X	Y	Z
A	3	5	1
B	5	7	3
C	7	9	5

Fuente: Elaboración propia (2021).

Una vez establecido los niveles de servicio y los días de inventario para el riesgo del proveedor en cada segmento se procederán a calcular los niveles de inventario de seguridad utilizando la ecuación (6):

$$\text{Inventario de seguridad} = (Z \cdot \sigma_{POS}) + RDP_d * \bar{d} \quad (6).$$

Donde:

$Z$  = Nivel de servicio

$\sigma_{POS}$  = Desviación estándar en el periodo de suministro

$\bar{d}$  = Promedio de demanda futura para 6 meses



$RDP_d$  = Riesgo de proveedor en días de trabajo

El inventario de seguridad está considerando variación en el consumo del artículo debido a operaciones y considera el riesgo que contribuye un proveedor al reabastecimiento de partes, de esta manera se considera la amortización de dos entradas de variación que afectan el nivel de servicio.

### **3.3.5 Políticas de inventario y revisión periódica**

En la etapa de políticas de inventario y revisión periódica se planea definir los estándares de parámetros que se deberán utilizar en el sistema ERP de acuerdo con la etapa en el ciclo de vida, clasificación ABC/XYZ, riesgo de proveedor, estrategia de reabastecimiento y nivel de servicio, al igual que definir la frecuencia en la que se realizarán estos análisis y cambios en el sistema.

La frecuencia en la que se planea actualizar los análisis de ciclo de vida, análisis ABC, análisis XYZ y riesgo de proveedor será de cada tres meses y en eventos que formen una disrupción en la cadena de suministros tales como el COVID-19 en el año 2020. La actualización de indicadores formará parte de los cambios sometidos al sistema ERP en la información maestra del material para ajustarlos a la demanda y variación de los Artículos.

Las políticas de inventario que serán auditadas cada tres meses serán las siguientes:

- Artículos nuevos: Los artículos con etapa de ciclo de vida nuevos, se mantendrá una estrategia de reabastecimiento de planeación bajo demanda sin inventario de seguridad.
- Artículos regulares: Los artículos con etapa de ciclo de vida normal utilizarán los niveles de servicio establecidos respecto al indicador ABC/XYZ, el diagrama de árbol de decisión para la estrategia de reabastecimiento, el periodo de suministro respecto al indicador ABC y la tabla de riesgo de proveedor para la definición del inventario de seguridad

- Artículos en declive: Los artículos con etapa de ciclo de vida en declive, se reducirá el inventario de seguridad a un 50% ya que el artículo puede estar llegando al final de su ciclo de vida.
- Artículos inactivos: Los artículos con etapa de ciclo de vida inactiva, se deberán excluir de los análisis ABC, se cambiarán las estrategias de reabastecimiento a planeación bajo demanda y no se tendrá ningún parámetro de inventario de seguridad.

Como parte de la gestión de inventarios se planea reducir la cantidad de inventario en exceso y obsoleto, debido a la mala planificación de materiales que han llegado al final de su ciclo de vida, para evitar este tipo de inventario se realizará el siguiente análisis a los números de parte inactivos:

- Analizar el inventario disponible de los números de parte en la etapa de ciclo de vida inactivo y verificar si pueden ser utilizados para trabajar en una nueva revisión del número de parte, pueden ser regresados al proveedor, vender los Artículos al valor de salvamento o como última opción desecharlos.
- Analizar si existe nueva demanda para los números de parte en la etapa de ciclo de vida inactivo para reincorporarlos al análisis ABC y que seguir la política de inventario en Artículos regulares.

Por último, se establecerán los indicadores clave del desempeño para medir el impacto que tiene el modelo de categorización y planificación en el inventario, en la Tabla 17 se describen los indicadores del desempeño.

Tabla 17 Indicadores del desempeño

Indicadores del desempeño	Descripción
<b>Costo total del inventario</b>	Costo total de existencias del inventario asociadas a uno o varios programas.
<b>Nivel de servicio</b>	La probabilidad esperada de no llegar a una situación de faltante de existencias.
<b>Numero de desabastos y posibles desabastos</b>	La cantidad total de faltantes y posibles faltantes de los últimos 6 meses.
<b>Costo por inventario en exceso y obsoleto</b>	Costo total asociación a las existencias sin demanda o plan de utilización.

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 3.4 Calendarización

Se presenta la calendarización estimada para este proyecto, se considera la mayor parte del primer cuarto del año realizar las actividades de comunicación con los programas, entrenamientos, recolección inicial de datos, la visualización de los indicadores, juntas de evaluación para los cambios a ejecutar y la ejecución de estos.

Posteriormente se planea un trimestre de espera a evaluar los resultados, esto es debido a los tiempos de entregas de los proveedores pueden llegar a tomar hasta 180 días después del tiempo congelado. Por último, se espera recolectar los datos para su evaluación y validación del modelo. La calendarización se puede apreciar en la Tabla 18.

Tabla 18 Calendarización

Actividad	2021											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1. Comunicación inicial a los programas Airbus												
2. Recolección inicial de datos (Indicadores del desempeño)												
3. Graficar datos												
4. Evaluar cambios a realizar en el sistema ERP (excepciones)												
5. Ejecutar los cambios en el sistema												
6. Recolección datos y evaluar Indicadores del desempeño												
7. Validar modelo de categorización												

Fuente: Elaboración propia (2021).

## 4. Resultados

## 4. Resultados

Este capítulo presenta los resultados de la metodología propuesta en el Capítulo 3. Se da explicación a el tiempo de implementación y los detalles en los tiempos de espera de resultados, se presentan los parámetros de control y los valores de distribución del inventario, se describe como el modelo propuesto fue implementando, se analiza el efecto del modelo en los costos de inventario y niveles de servicio, posteriormente se presentan las respuestas a las preguntas de investigación planteadas en el Capítulo 1.

### 4.1 Tiempo de implementación

Durante la implementación del modelo de clasificación para el portafolio Airbus se definió un periodo de espera aproximado de tres meses, esto se debe a que los artículos de compra en una industria de giro aeroespacial son contractualmente sujetos a un periodo de tiempo fijo en los que no se permites cambios al plan de aprovisionamiento, estos periodos pueden variar de 30 días hasta 90 días, es por esto que se decidió implementar los cambios en mayo del 2021 y evaluar los resultados hasta el mes de Octubre del 2021 como se muestra en la Imagen 31.



*Imagen 31. Grafica del tiempo de implementación*

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 4.2 Parámetros de control

En esta sección se calculan los parámetros de control para cada clasificación ABC/XYZ. Se decidió utilizar un nivel de servicio entre 85% y 94%, ya que, se pretende cubrir al menos una desviación estándar en partes de clasificación Z cuya

demanda es impredecible. En la Tabla 19 se muestran los niveles de servicio objetivos para cada clasificación.

Tabla 19 Niveles de servicio objetivo por clasificación ABC/XYZ

Niveles de servicio			
	X	Y	Z
A	85%	90%	85%
B	90%	92%	85%
C	92%	94%	85%

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 4.3 Valores de distribución del inventario

Para el portafolio de Airbus se utilizó el análisis ABC/XYZ en 4,322 números de parte activos para obtener la clasificación a la cual se les asignara un nivel de servicio objetivo, los resultados los resultados de distribución ABC/XYZ en proporciones se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20 Distribución de partes por clasificación ABC/XYZ

	X	Y	Z	Total
A	5%	2%	1%	8%
B	13%	5%	2%	20%
C	43%	20%	9%	72%
Total	61%	28%	11%	100%

Fuente: Elaboración propia (2021).

Se identificó que los números de parte con mayor valor de contribución o clasificación A equivalen al 8% de la cantidad total de artículos, y en términos de variación la clasificación X tuvo el mayor porcentaje en números de parte equivalente al 43% de los artículos.

El siguiente paso es evaluar la cantidad monetaria invertida en cada una de las clasificaciones de las partes, el valor del inventario en millones de dolares en base a su clasificación se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21 Valor de inventario por clasificación ABC/XYZ

	X	Y	Z	Total
A	\$14.2	\$2.1	\$0.08	\$16.4
B	\$6.8	\$0.4	\$0.03	\$7.2
C	\$1.8	\$0.1	\$0.01	\$2.0
Total	\$22.7	\$2.7	\$0.1	\$25.5

Fuente: Elaboración propia (2021).

Como se puede observar la mayor cantidad de dinero invertido se encuentra en la clasificación A con \$16.4 millones de dolares equivalentes al 64.3% del valor total del inventario. El siguiente paso es analizar el nivel de servicio con el que se encuentra el portafolio Airbus antes de la implementación del modelo, el nivel de servicio por clasificación ABC/XYZ se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Nivel de servicio por clasificación ABC/XYZ

	X	Y	Z	Total
A	97%	98%	87%	97%
B	94%	86%	65%	93%
C	89%	70%	67%	86%
Total	91%	76%	67%	85%

Fuente: Elaboración propia (2021).

Se identifico que el inventario del portafolio Airbus tiene un nivel de servicio del 85%, posteriormente se decidió medir la cantidad de paros de línea activos debido a desabastos los cuales fueron 67 para el mes de mayo 2021, posteriormente se analizó la distribución de paros de línea en base a su clasificación ABC/XYZ los cuales se muestran en la Tabla 23.



Tabla 23 Paros de línea activos por clasificación ABC/XYZ

	X	Y	Z	Total
A	6	22	0	28
B	4	21	0	25
C	4	10	0	14
Total	14	53	0	67

Fuente: Elaboración propia (2021).

Una vez realizado el análisis de paros de línea activos, se puede apreciar que los números de parte con variación media o clasificación Y son aquellos que causan la mayor cantidad de paros de línea y equivalen al 10% del valor total de los números de parte.

Todos los métricos mencionados son importantes para medir el efecto de la implementación del modelo, es por esto que se decide hacer un resumen del estado actual previo a la implementación del modelo que se detalla en la Tabla 24.

Tabla 24 Resumen del inventario previo a la implementación

Clasificación	Nivel de servicio objetivo	Pre-implementación			
		Distribución de partes	Valor de inventario (millones de dolares)	Nivel de servicio	Paros de línea activos (mayo 2021)
AX	85%	5%	\$14.2m	97%	6
AY	90%	2%	\$2.1m	98%	22
AZ	85%	1%	\$0.08m	87%	0
BX	90%	13%	\$6.8m	94%	4
BY	92%	5%	\$0.4m	86%	21
BZ	85%	2%	\$0.03m	65%	0
CX	92%	43%	\$1.8m	89%	4
CY	94%	20%	\$0.1m	70%	10
CZ	85%	9%	\$0.01m	67%	0
<b>TOTAL</b>	<b>88%</b>	<b>100%</b>	<b>\$25.5m</b>	<b>85%</b>	<b>67</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

#### **4.4 Implementación**

El modelo propuesto fue esta diseñado en el software the Microsoft Excel. El modelo determina el nivel de servicio objetivo para cada una de las clasificaciones de inventario determinadas. Además de los niveles de servicio objetivo, el modelo puede determinar que estrategia de reabastecimiento es más aplicable a cada clasificación. La compra se realiza en el sistema ERP que utiliza Collins Aerospace. En este sistema se almacenan las características de todos los artículos del inventario. Las estrategias de reabastecimiento y niveles de servicio pueden ser agregados a esta lista.

Los cambios en el sistema ERP fueron realizados en mayo 2021 y se esperó tres meses para medir los resultados como se describe en la sección 4.1 . En la siguiente sección se describen los resultados a detalle de la implementación del modelo.

#### **4.5 Valores de distribución post implementación**

Una vez implementados se analizan los resultados y se da respuesta a las preguntas de investigación planteadas en el capítulo 1 de este manuscrito. En seguida se procede a evaluar la distribución de partes por clasificación ABC/XYZ para el portafolio de Airbus en los 4,322 números de parte activos, los resultados de la distribución ABC/XYZ muestran que la clasificación A representa el 9% de los números totales incrementando en 1%, la clasificación B representa el 26% incrementando en 6%, la clasificación C representa el 65% disminuyendo en 7%, la clasificación X es de 74% incrementando la predictibilidad en 11%, la clasificación Y es de 22% disminuyendo en 6%, y finalmente, la clasificación Z representa el 6% disminuyendo en 5%. Esto quiere decir que los números de parte cambiaron su distribución a mayor valor de distribución y mayor predictibilidad como se representa en la Tabla 25.

Tabla 25 Distribución de partes por clasificación ABC/XYZ post implementación

	X	Y	Z	Total
A	6%	2%	1%	9%
B	21%	4%	1%	26%
C	45%	16%	4%	65%
Total	72%	22%	6%	100%

Fuente: Elaboración propia (2021).

#### 4.5.1 La relación de la revisión periódica en los cambios de las clasificaciones.

La implementación de una revisión periódica cambio los porcentajes en promedio un 3.2% por cuarto de año fiscal, aunque el cambio no es significativo es suficiente para adaptar las clasificaciones a una demanda constantemente cambiante.

Se identifico que los números de parte con mayor valor de contribución o clasificación A incrementaron en 1% en comparación al estado previo a la implementación, en términos de variación la clasificación X tuvo el mayor porcentaje en números de parte incrementando en 11%, esto quiere decir que la implementación del modelo tiene correlación con el incremento de predictibilidad en consumo.

Posteriormente se procede a evaluar la cantidad monetaria invertida en cada una de las clasificaciones de las partes, a continuación, se muestra el valor del inventario en millones de dolares en base a su clasificación como resultado de la implementación del modelo que se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26 Valor de inventario por clasificación ABC/XYZ post implementación

	X	Y	Z	Total
A	\$11.1	\$1.6	\$0.04	\$12.7
B	\$5.3	\$0.4	\$0.04	\$5.7
C	\$1.6	\$0.2	\$0.0	\$1.8
Total	\$18.0	\$2.1	\$0.1	\$20.3

Fuente: Elaboración propia (2021).

#### 4.5.2 El efecto que tiene el modelo de clasificación en los costos de inventario

Los resultados muestran que el efecto de la implementación del modelo de clasificación redujo el costo total del inventario en \$5.2 millones de dolares cuyo mayor impacto se encuentran en las clasificaciones AX, AY y BX.

El siguiente paso es analizar los niveles de servicio con el que se encuentra el portafolio Airbus después de la implementación del modelo, el nivel de servicio por clasificación ABC/XYZ se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27 Nivel de servicio por clasificación ABC/XYZ post implementación

	X	Y	Z	Total
A	84%	89%	61%	86%
B	89%	92%	76%	89%
C	94%	93%	63%	93%
Total	89%	91%	67%	89%

Fuente: Elaboración propia (2021).

#### 4.5.3 El modelo de clasificación consigue los niveles de servicio esperados

Se identifico que el inventario del portafolio Airbus tiene un nivel de servicio de 89% incrementando en un 4% del nivel de servicio previo a la implementación y difiere del nivel de servicio objetivo en 1%, es importante resaltar que la clasificación de mayor valor AX se redujo en 13% la cual equivale a \$3.1 millones de dolares.

También es importante hacer énfasis en la clasificación Y ya que obtuvo un incremento del 15% por lo que se procede a evaluar los resultados en la distribución de paros de línea activos por clasificación ABC/XYZ en la Tabla 28.

Tabla 28 Paros de línea activos por clasificación ABC/XYZ post implementación

	X	Y	Z	Total
A	5	17	1	23
B	4	9	0	13
C	1	5	0	6
Total	10	31	1	<b>42</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Se puede observar que existe correlación entre el nivel de servicio y los paros de línea activos ya que existe un decremento de 25 paros de línea activos en su mayoría la clasificación Y que tuvo el mayor incremento en nivel de servicio, también es importante resaltar que existen otros factores que influyen en los paros de línea por desabastos de partes tales como problemas en la cadena de suministro a nivel global por la situación provocada por la pandemia SARS-COV-2 y sus variantes.

Una vez evaluados los métricos post implementación es importante hacer un resumen comparando el estado actual y el estado previo a la implementación del modelo para mostrar el efecto que se tuvo, es por esto por lo que se decide hacer una comparativa de características del inventario que se detalla en la Tabla 29.

Tabla 29 Comparación de características de inventario antes y después de la implementación

Clasificación	Nivel de servicio objetivo	Pre-Implementación				Post-Implementación			
		Distribución de partes	Valor de inventario (millones de dolares)	Nivel de servicio	Paros de línea activos (mayo 2021)	Distribución de partes	Valor de inventario (millones de dolares)	Nivel de servicio	Paros de línea activos (octubre 2021)
<b>AX</b>	<b>85%</b>	5%	\$14.2m	97%	6	6%	\$11.1m	84%	5
<b>AY</b>	<b>90%</b>	2%	\$2.1m	98%	22	2%	\$1.6m	89%	17
<b>AZ</b>	<b>85%</b>	1%	\$0.08m	87%	0	1%	\$0.04m	61%	1
<b>BX</b>	<b>90%</b>	13%	\$6.8m	94%	4	21%	\$5.3m	89%	4
<b>BY</b>	<b>92%</b>	5%	\$0.4m	86%	21	4%	\$0.4m	92%	9
<b>BZ</b>	<b>85%</b>	2%	\$0.03m	65%	0	1%	\$0.04m	76%	0
<b>CX</b>	<b>92%</b>	43%	\$1.8m	89%	4	45%	\$1.6m	94%	1
<b>CY</b>	<b>94%</b>	20%	\$0.1m	70%	10	16%	\$0.2m	93%	5
<b>CZ</b>	<b>85%</b>	9%	\$0.01m	67%	0	4%	\$0.00m	63%	0
<b>TOTAL</b>	<b>88%</b>	<b>100%</b>	<b>\$25.5m</b>	<b>85%</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>	<b>\$20.3m</b>	<b>89%</b>	<b>42</b>

Fuente: Elaboración propia (2021)

Como se puede observar la implementación del modelo tuvo en efecto positivo en los niveles de inventario ya que se redujo un total de \$5.2 millones de dolares en costo del inventario y se incrementó el nivel de servicio en 4% para el portafolio de Airbus y además se obtuvo una reducción de 25 paros de línea activos.

En este capítulo se evaluaron los resultados de la implementación del modelo de clasificación de inventario y se dio respuesta a las preguntas de investigación planteadas, es importante mencionar que aun cuando existen diferentes factores que pueden afectar los resultados tales como los cambios en demanda abruptos, capacidad operativa de proveedores, escases de recursos de materia prima a nivel global y el desabasto de servicios logísticos, fue posible alcanzar los objetivos de nivel de servicio y reducción de costos totales del inventario para el portafolio Airbus.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

Este capítulo final concluye la investigación y proporciona algunas recomendaciones para el desarrollo continuo del modelo de clasificación implementado.

### **5.1 Conclusión**

La implementación del modelo de clasificación en la empresa Collins Aerospace fue compleja ya que no se contaba con un mantenimiento recurrente de la base de datos que permitiera definir si los números de parte se encontraban activos o inactivos, si su suministro era interno o externo, o en qué etapa del ciclo de vida se encontraban. La falta de exactitud e integridad de los datos básicos resultó en la mala toma de decisiones del capital de trabajo de la empresa.

Además, la empresa calculaba únicamente la clasificación ABC, esto lo hacía en base a el costo unitario de un artículo y no al valor de contribución que representa a la organización, la implementación del análisis ABC permitió a la empresa identificar claramente que partes tienen mayor valor para sus operaciones de manufactura.

Previo a la implementación del análisis XYZ fue importante capacitar al personal de administración de materiales en conceptos básicos de estadística, ya que la falta de conocimiento básico no permitía ver el valor de este análisis y como consecuencia la autorización de recursos. Posteriormente se solicitaron los elementos necesarios para el desarrollo de una base de datos que almacenara los registros de consumo y permitiera realizar el análisis XYZ.

Una vez desarrolladas las bases de datos se procedió a realizar el análisis ABC y XYZ en el cual fue necesario excluir aquellos números de parte que se encuentran inactivos ya que su inclusión sesga la clasificación del inventario.



También, la medición de riesgo de proveedores permitió a la empresa tener mayor visibilidad sobre los posibles desabastos causados por el proveedor al igual que trabajar de manera proactiva con ellos para mejorar en alguno de los seis indicadores del desempeño que presente una oportunidad.

Es importante mencionar que la empresa Collins Aerospace tiene una cultura con más de 40 años enfocada a la reducción de desperdicios que se basa en el sistema de manufactura esbelta desarrollado por Toyota, por este motivo fue particularmente difícil implementar los inventarios de seguridad ya que el inventario es considerado como un desperdicio y no como un recurso que habilite el flujo eficiente de operaciones en la cadena de suministro como ventaja competitiva.

La volatilidad en el consumo de las partes (análisis XYZ) permitió a la compañía tomar la decisión de reducir el inventario en los artículos cuya demanda ha reducido tales como las clasificaciones BZ y CZ. Cabe señalar que el análisis XYZ también permitió a la compañía identificar oportunidades tales como números de parte con alta variabilidad en consumo y poder implementar controles que reduzcan la variación para a su vez reducir el inventario de seguridad y el costo total del inventario.

La implementación de un modelo de clasificación de inventarios para la reducción de costos en la cadena de suministro del portafolio Airbus permitió a la empresa reducir significativamente los costos de almacenamiento de inventario en \$5.5 millones de dolares (21.56%) e incrementar su nivel de servicio en 4%, cumpliendo con los objetivos. El modelo también permitió a la empresa clasificar su inventario de manera continúa asegurándose que se mantengan los niveles de servicio deseados y que los costos artículos de mayor contribución económica se mantengan bajo controles estrictos.

## 5.2 Recomendaciones

El objetivo de esta investigación fue implementar una administración estratégica adecuada para la cadena de suministro del portafolio Airbus y la toma de decisiones para alcanzar los niveles de servicio deseados. En esta sección se darán recomendaciones para el proceso de administración de la cadena de suministro para futuras implementaciones con los diferentes portafolios.

### 5.2.1 Desviación unilateral

Un común supuesto en las fórmulas de inventario de seguridad conocidas es que la oferta y la demanda se distribuyen normalmente. La ecuación de desviación estándar considera que la distribución es bilateral y cuando el consumo es menor a la medida de tendencia central se considera como una desviación y por consecuencia se incrementa el inventario de seguridad. Por este motivo se recomienda una adaptación a la fórmula de desviación estándar que considere una desviación unilateral.

La desviación estándar cuenta el valor  $X_i$  de cada ocurrencia  $i$ , para una desviación unilateral solo se requiere considerar las ocurrencias que son iguales o mayores a la tendencia central, ya sea media, mediana o moda y se ignora cada ocurrencia menor que el valor central. Pero las ocurrencias que son iguales al valor central solo se cuenta la mitad, al hacerlo, la desviación unilateral es idéntica a la desviación estándar cuando la distribución es simétrica. El numerador no cambia porque se agrega la mitad de cero, pero el denominador si cambia.

La ecuación considera la función  $I$  que es 0 cuando  $X_i < X$ ,  $\frac{1}{2}$  cuando  $X_i = X$  y 1 cuando  $X_i > X$ . La ecuación de desviación unilateral se describe con la siguiente ecuación (7):

$$\sigma^+ = \frac{\sqrt{\sum_i N I_i (X_i - \bar{X})^2}}{\sum_i N I_i} \quad (7).$$

Donde:

$I$  = Función de desviación unilateral

$\bar{X}$  = Medida de tendencia central

$X_i$  = Valor de cada ocurrencia  $i$

Con este cambio en la desviación estándar, ampliamos su uso a muchas distribuciones sesgadas que se encuentren comúnmente, de esta manera se puede calcular de manera más precisa la desviación que será utilizada para definir la clasificación XYZ y el nivel de inventario de seguridad.

### **5.2.2 Ampliar al análisis ABC y XYZ**

Como parte de la implementación se definieron los parámetros de los análisis ABC y XYZ, sin embargo, existe oportunidad de ampliar las clasificaciones para categorizar el inventario en una matriz 4x4, es decir, un análisis ABCD y WXYZ, de esta manera la segmentación sería más precisa y se podría diferenciar artículos en los cuales su demanda se ha reducido y que comienza la etapa final de su etapa del ciclo de vida, de esta manera se puede planificar de manera los cambios en el sistema ERP requeridos para no tener inventario en exceso tales como el inventario de seguridad.

También el tener una clasificación WXYZ permitiría una segmentación mejor distribuida ya que la distribución actual define a un numero de parte como X si es menor a 0.5 COV, Y si se encuentra entre 0.5 COV y 1.5 COV, y finalmente Z si es mayor a 1.5 COV.

Como se puede observar la clasificación Y tiene el mayor rango de clasificación y es la clasificación con mayor índice de paros de línea activos, si se amplía la clasificación a WXYZ entonces permitiría tener una visión más precisa en que partes tienden a parar las líneas de producción, además se podrían redefinir los niveles de servicio de tal manera que optimicen los costos de mantener inventario teniendo mejores resultados.

### **5.2.3 Implementación en partes manufacturadas y productos terminados**

La implementación de la administración estrategia fue utilizada para la cadena de suministros en la compra de artículos con proveedores externos, por lo que se recomienda la utilización de la estrategia para las partes de manufactura y productos terminados.

Los artículos de manufactura pueden ser segmentados utilizando la clasificación ABC/XYZ y se podría medir el riesgo de un desabasto por una línea de manufactura no completando las ordenes de producción en el tiempo definido en el MRP. Si se almacena inventario de seguridad en puntos estratégicos de desacoplamiento se puede asegurar un flujo continuo de producción y se mitigarían paros de línea debido a desabastos de partes manufacturadas.

Además, con esta metodología se puede clasificar el inventario de producto terminado. Ya que se definen niveles de servicio para cada clasificación y se asegurando el cumplimiento de la demanda de los artículos de producto terminado aun cuando se tiene órdenes de compra expeditadas con los clientes que resultarían en un mayor margen de ganancia para la compañía.

### **5.2.4 Reducir la variación de consumo**

Durante la implementación de este proyecto se implementó la clasificación XYZ la cual mide la variación en consumo de un numero de parte, este indicador permite identificar aquellos números de parte que están siendo consumidos de forma errática como las clasificaciones AY, AZ, BY, BZ y CZ. Por lo que se recomienda a la empresa implementar proyectos de reducción de variación para estas clasificaciones, ya que las causas pueden ser debido a problemas de calidad, problemas de suministro, pedidos de repuestos mal pronosticados entre otras causas.

Por ejemplo, si una parte AY con nivel de servicio del 90% se reduce su variación de consumo logrando ser clasificada AX en el siguiente periodo de revisión entonces se reduciría en por lo menos 24.5% de costo de inventario. Es por este motivo que

se recomienda a la empresa implementar un proyecto de reducción de variación de consumo con el enfoque de poder predecir la demanda y a su vez reducir la cantidad de inventario de seguridad.

## Referencias bibliográficas

- Abdi, H. (2010). *Dallas Public Education*. Obtenido de <https://www.pub.utdallas.edu/~herve/abdi-cv2010-pretty.pdf>
- APICS. (2018). *Certified In Production and Inventory Management* (2018 ed., Vol. 6). Chicago, IL, Estados Unidos de America: Sociedad americana de producción y control de inventario .
- Ballaou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. S.D.: Ed. Pearson. Recuperado el 7 de Octubre de 2019, de [https://ulisesmv1.files.wordpress.com/2015/08/logistica\\_administracion\\_de\\_la\\_cadena\\_de\\_suministro\\_5ta\\_edicion\\_-\\_ronald\\_h-\\_ballou.pdf](https://ulisesmv1.files.wordpress.com/2015/08/logistica_administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ta_edicion_-_ronald_h-_ballou.pdf)
- Chase, R. B., Jacobs, R. F., & Aquilano, N. (2009). *Administracion de operaciones: Produccion y Cadena de suministros*. E.U.A: McGraw Hill.
- Chiavenato, I. (1993). *Iniciacion a la Administracion de Materiales* (1ra ed.). Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el 2019, de <http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo:8000/opac/Record/232501>
- Collins. (10 de Noviembre de 2019). *Collins Aerospace*. Obtenido de <https://www.collinsaerospace.com/who-we-are>
- Dhoka, D. K. (2013). *XYZ Inventory classification & challenges* (Vol. 2). Chennai, India: IOSR Journal of Economics and Finance. doi:2321-5925
- Fiom, S. (2012). *Effective and efficient use of safety or buffer stock*. Amsterdam: International Journal of Production Research.
- Juhala, T. (2020). *Items classifications in purchasing for order process efficiency and a basis for automation*. Vaasa: Vaasan Yliopisto, University of Vaasa.
- Kichurim, Tecnice, Tecnimat, Griduc, Gidsaw, & Cognitek. (2013). *El modelamiento matematico de la formacion del ingeniero*. Colombia: Edna Rocio Rivera.
- Kolińska, K. (2016). *Analysis and Optimization of Inventory in Enterprises*. Poznan, Polonia: Institute of Logistics and Warehousing, Estkowskiego. doi:10.17270
- Laveriano, W. (Enero de 2010). Importancia del control de inventarios. *Actualidad Empresarial*, 21. Obtenido de <http://biblioteca.iplacex.cl/RCA/Importancia%20del%20control%20de%20inventarios%20en%20la%20empresa.pdf>

- Mauro, J. (2008). *Strategic Inventory Management in an Aerospace Supply Chain*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- May, B. I. (2017). *APPLYING INVENTORY CLASSIFICATION TO A LARGE INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM*. (N. Kuwahara, Ed.) Filadelfia, PA, Estados Unidos de America: Journal of Operations and Supply Chain Management. doi:10.12660
- Ortberg, K. (10 de Julio de 2019). *Collins Aerospace*. Obtenido de <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do>
- Patak, C., & Smith, C. (2011). *Demand Driven Materials Requirements Planning* (3rd ed.). Troy, OH, United States of America: Industrial Press. Obtenido de <https://books.industrialpress.com/9780831136284/demand-driven-material-requirements-planning-ddmnp-version-2/>
- Plinta, D. (2012). *COMPREHENSIVE APPROACH TO THE INVENTORY CONTROL* (Vol. 3). Bielsko-Biala: University of Bielsko-Biala. doi:10.2478/v10270-012-0022-0
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2006). *The handbook of logistics and distribution management*. Londres: Kogan Page Publishers.
- Sakki, J. (2014). *Order-Supply Chain Management: The Challenges of Digitalization*. Helsinki: Hakapaino Oy. Obtenido de <https://www.finna.fi/Record/tria.338616?lng=en-gb>
- Scholten, A. (2020). *Optimizing the Inventory Control Policy Within an Electronics Production Com-*. Oldenzaal: University of Twente. Obtenido de [www.hortec.nl](http://www.hortec.nl)
- Sikorova, A. (2018). *OPTIMIZATION OF INVENTORY MANAGEMENT IN A METALLURGICAL COMPANY*. Republica Checa, Union Europea: Technical University of Ostrava.
- Slater, P. (2016). *Spare Parts Inventory Management: A Complete Guide to Sparesology*. Estados Unidos Americanos: Industrial Press Inc.
- Swastomo, G. I. (2020). *INVENTORY POLICY FOR AFTER SALES SPARE PARTS TO MINIMIZE OVERSTOCK USING PERIODIC REVIEW AND ABC-XYZ CLASSIFICATION IN PT PQR*. Bandung, Indonesia: Telkom University.

Trubchenko, T. G. (2020). *Application of ABC and XYZ Analysis to Inventory Optimization at a Commercial Enterprise*. Tomsk, Rusia: National Research Tomsk Polytechnic University. doi:10.1051

Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking*. Nueva York, NY, Estados Unidos de America: Free Press.