

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN LOGÍSTICO DE INVENTARIOS  
PARA LOS REPARABLES UTILIZADOS EN LOS MANTENIMIENTOS  
IMPREVISTOS DE LOS HELICÓPTEROS DEL CACOM-4

ESTEFANIA SANJUAN HERRERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2017

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN LOGÍSTICO DE INVENTARIOS  
PARA LOS REPARABLES UTILIZADOS EN LOS MANTENIMIENTOS  
IMPREVISTOS DE LOS HELICÓPTEROS DEL CACOM-4

ESTEFANIA SANJUAN HERRERA

Trabajo presentado como requisito parcial para obtener el título de especialista  
en Gerencia de Mantenimiento

Director: LINA ELIANA ÁVILA LOZANO  
Ingeniera Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2017

## **AGRADECIMEINTOS**

Agradezco a Dios en primera instancia por permitirme obtener este nuevo logro en mi vida.

A mi papa y a mi mama por darme siempre todo su apoyo y por acompañarme en el camino que he recorrido.

A mi hermano Gustavo que es una de las personas más importantes en mi vida y una de mis razones para seguir adelante.

A mi esposo quien es la persona que con sus palabras de aliento, sus consejos y su compañía ha sido mi apoyo incondicional.

## CONTENIDO

	PAG
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....</b>	<b>13</b>
1.1 IDENTIFICACION DE LA EMPRESA .....	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.3.1 Objetivo general .....	15
1.3.2 Objetivo especifico .....	15
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	15
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1 INVENTARIO .....	16
2.1.1 Tipos de inventarios .....	17
2.1.2 Repuestos .....	18
2.2 GESTIÓN DE INVENTARIOS.....	18
2.2.1 Clasificación de Inventario .....	20
2.2.2 Clasificación por Criticidad.....	22
2.2.3 Puntos de Pedido .....	22
2.2.4 Stock de Seguridad .....	23
2.3 REPUESTOS CENTRADOS EN CONFIABILIDAD - RCS .....	23
<b>3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....</b>	<b>25</b>
3.1 HISTORIAL DE REPUESTOS EN ERP DE SAP .....	25

3.2 INFORMACIÓN DE INVENTARIOS OBTENIDOS EN EL ALMACÉN DE LA EMPRESA.....	31
3.3 ROTATIVIDAD DE REPARABLES EN MANTENIMIENTO IMPREVISTO .	32
3.4 CLASIFICACIÓN DE CRITICIDAD DE REPARABLES EN MANTENIMIENTO IMPREVISTO .....	38
3.5 PRONOSTICO DE INVENTARIOS .....	41
<b>4. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>47</b>
4.1 DIAGNOSTICO .....	47
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	47
4.3 PROPUESTA DEL MODELO DE GESTION .....	50
<b>5. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE TABLAS

PAG

Tabla 1. Historial movimientos de reparables en mantenimiento imprevisto ....	25
Tabla 2. Rotación de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto...	33
Tabla 3. Matriz de Criticidad.....	39
Tabla 4. Clasificación por Criticidad .....	40
Tabla 5. Puntos reorden y niveles maximos de inventario.....	45

## LISTA DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Estructura Logística del Escuadrón Abastamientos.....	13
Figura 2. Diagrama de Pareto .....	21
Figura 3. Patrones de demanda.....	42
Figura 4. Propuesta modelo gestión de inventarios .....	50

## RESUMEN

### **TITULO:**

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTION LOGISTICO DE INVENTARIOS PARA LOS REPARABLES UTILIZADOS EN LOS MANTENIMIENTOS IMPREVISTOS DE LOS HELICOPTEROS DEL CACOM-4.\*

### **AUTOR:**

Estefania Sanjuan Herrera \*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

Gestión de inventarios, reparables, rotación, criticidad, mantenimiento imprevisto

### **DESCRIPCION:**

En el sector aeronáutico el papel que desempeña el mantenimiento es clave para asegurar la aeronavegabilidad, confiabilidad y disponibilidad de las aeronaves en las diferentes misiones que se realizan diariamente. Para lo cual se requiere contar con una cadena logística eficiente que cuente con personas, equipos e insumos idóneos para el desarrollo de las diferentes tareas de mantenimiento.

El Grupo Técnico del Comando Aéreo de combate No.4, tiene un sistema logístico conformado por las áreas de mantenimiento, abastecimientos, planeación, confiabilidad, ingeniería y calidad, las cuales trabajan en conjunto para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los helicópteros asignados logísticamente a esta Unidad de la Fuerza Aérea Colombiana. Sin embargo, actualmente se presentan falencias en el proceso de gestión de inventarios especialmente de los repuestos reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, lo cual ha generado en repetidas ocasiones faltantes de repuestos críticos, afectando la disponibilidad de los helicópteros para el cumplimiento de las diferentes misiones de vuelo.

El objetivo de este proyecto es identificar los problemas que se están presentado en la administración de estos inventarios, presentar estrategias para mejorar la gestión de los mismos y proponer un modelo que permita optimizar el proceso y asegurar la disponibilidad de los repuestos críticos para la solución de imprevistos, buscando reducir los tiempos de solución de este tipo de mantenimientos.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Lina Avila Lozano. Ingeniera Industrial.

## ABSTRACT

**TITTLE:**

DESIGN OF A LOGISTIC MODEL OF INVENTORY MANAGEMENT FOR THE REPAIRABLE ITEMS USED IN THE UNFORESEEN MAINTENANCES OF THE HELICOPTERS OF THE CACOM-4\*

**AUTHOR:**

Estefania Sanjuan Herrera\*\*

**KEYBOARDS:**

Inventory management, repairable, rotation, criticality, unforeseen maintenance

**DESCRPTION:**

In the aeronautical sector the role of maintenance is key to ensure the reliability and availability of aircraft in the different missions that are performed daily. For which it is needed to be provided with an efficient logistic chain that should be shaped with persons, teams and suitable inputs for the development of the different tasks of maintenance.

The Technical Group of the Air Command of Combat No. 4, has a logistic system shaped by the areas of maintenance, supplyings, planning, reliability, engineering and quality, which work as a whole to assure the availability and reliability of the helicopters assigned logistically to this Unit of the Colombian Air Force. Nevertheless, currently the logistic process have some flaws in the process of stocktaking management specially of the repairable items used in unforeseen maintenance, affecting the availability of the helicopters for the fulfillment of the different missions.

The objective of this project is to identify the problems presented in the administration of these inventories, stablish strategies to improve the management of the process and propose a model that allows to optimize and ensure the availability of critical parts for the solution of unforeseen, seeking to reduce solution time of this type of maintenance.

---

\* Degree work

\*\*Faculty of Physical - Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Lina Avila Lozano. Industrial Engineer.

## INTRODUCCIÓN

En el sector aeronáutico el rol que desempeña mantenimiento es vital para garantizar la alta confiabilidad y disponibilidad de las aeronaves, ya que alguna falla en la operación pone en riesgo directamente la vida de las personal que se encuentran a bordo la aeronave.

Para asegurar el correcto funcionamiento y confiabilidad de las aeronaves se requiere un soporte logístico robusto que involucra personal, equipos, herramientas e insumos, sin embargo lograr una administración eficiente y eficaz es un reto que requiere de un monitoreo constante y un continuo proceso de mejora, teniendo en cuenta que, la falla de alguno de los factores que intervienen en este proceso genera una afectación directa en la operación de las aeronaves.

Particularmente el Grupo Técnico del Comando Aéreo de Combate No.4, encargado de realizar el mantenimiento a los helicópteros asignados logísticamente a la unidad, tiene definido un sistema logístico conformado por las áreas de mantenimiento, abastecimientos, planeación, confiabilidad, ingeniería y calidad las cuales trabajan en forma conjunta para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los helicópteros. Se evidencia actualmente en el área de abastecimientos, actualmente se presentan falencias en el proceso de gestión de inventarios, especialmente de los reparables requeridos para los mantenimientos imprevistos, generando en repetidas ocasiones faltantes de elementos críticos que afectan los tiempos de solución de los imprevistos. Por tal motivo este proyecto tiene como propósito identificar los problemas que se están presentando en el proceso de gestión de inventarios de estos repuestos y proponer un modelo que permita optimizar el proceso y reducir los tiempos de los mantenimientos imprevistos.

El presente documento esta compuesto por 6 capítulos, iniciando con las generalidades del proyecto, el segundo capitulo presenta los conceptos relacionados con la gestión de inventarios.

En el tercer capitulo, se realiza la recolección de datos, cálculos de parámetros y análisis de la información, en el cuarto capitulo se realiza el diagnostico de situación actual con base en la información obtenida, se plantean las estrategias para mejorar el proceso de administración de los reparables y se presenta la propuesta del modelo de gestión de los inventarios utilizados en mantenimiento imprevisto. Finalmente en los capítulos 5 y 6 se encuentran expuestas las conclusiones y bibliografía, respectivamente.

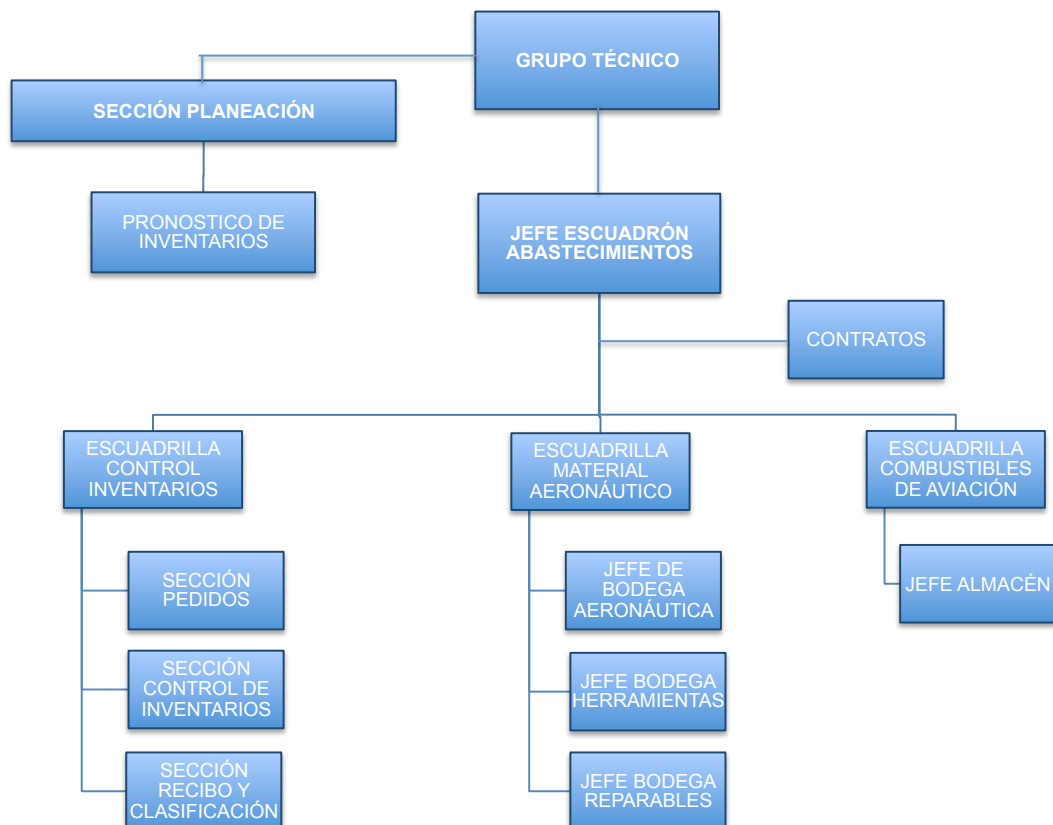
# 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1 IDENTIFICACION DE LA EMPRESA

El Grupo Técnico del Comando Aéreo de Combate No. 4 de la Fuerza Aérea Colombiana “TC. Luis Francisco Pinto Parra” , ubicado en el municipio de Melgar, Tolima, tiene la tarea de garantizar el máximo alistamiento y confiabilidad de los helicópteros para el desarrollo de operaciones aéreas y la formación de tripulaciones de helicópteros.

Para el cumplimiento de estas tareas, se cuenta con un escuadrón de abastecimientos encargado de administrar todos los respuestos, herramientas y suministros requeridos para el desarrollo de las actividades diarias de mantenimiento. Para la administración del material el escuadrón trabaja en coordinación con el área de pronósticos de inventarios, perteneciente a la sección planeación del Grupo Técnico.

Figura 1. Estructura Logística del Escuadrón Abastamientos



Fuente: Manual de Abastecimientos Aeronáuticos - Fuerza Aérea Colombiana

La administración de los almacenes es un proceso que varía en relación a los trabajos de mantenimiento programado e imprevisto, este trabajo se desarrolla a lo largo de todo el año y se modifica de acuerdo a los imprevistos que se presentan al desarrollar las tareas de mantenimiento de los helicópteros.

De acuerdo a la estructura organizacional la sección de pedidos es la encargada de realizar las solicitudes de material de acuerdo a los movimientos que se realizan en el almacén de reparables y los diferentes requerimientos que surgen de las tareas de mantenimiento imprevisto.

El almacén de reparables es el encargado de administrar y almacenar los reparables de acuerdo a los requerimientos que realiza el personal técnico encargado de los diferentes mantenimientos que se realizan en los helicópteros.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Comando Aéreo de Combate No. 4 de la Fuerza Aérea Colombiana, tiene la misión de conducir operaciones aéreas y formar los futuros pilotos de ala rotatoria de las Fuerzas Militares, para lo cual necesita de aeronaves seguras y confiables. Al contar con 68 helicópteros es necesario tener un sistema logístico eficiente que permita controlar cada una de las variables presentes en el proceso, con el fin de lograr una logística que permita la optimización de recursos y de los tiempos de mantenimiento. Para esto se requiere de un método eficiente para la administración de los inventarios de los reparables requeridos para los mantenimientos imprevistos que se presentan en los helicópteros, los cuales son vitales para dar solución a este tipo de mantenimientos y actualmente son el motivo por el cual se generan la mayoría de retrasos a la hora de solucionar este tipo de imprevistos.

Con este trabajo de monografía se pretende proponer la arquitectura de un modelo de gestión para optimizar la administración de inventarios de los reparables necesarios en los mantenimientos imprevistos, que permita determinar y controlar los niveles óptimos de inventarios, puntos de pedido y evitar la adquisición y almacenamiento de reparables que tienen un bajo nivel de consumo. Lo anterior con el objetivo de mejorar el proceso de logística, disminuir los tiempos de respuesta en la corrección de mantenimiento imprevisto de los helicópteros, optimizar los recursos y reducir los costos.

### 1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar un modelo de gestión de inventarios para los reparables utilizados para los mantenimientos imprevistos de los helicópteros del CACOM-4.

#### 1.3.2 Objetivo específico

1. Realizar un análisis para determinar los ítems reparados de mayor criticidad.
2. Establecer el nivel de rotación de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto.
3. Determinar puntos de re-orden y nivel máximo de inventario de los reparables más críticos.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

En el CACOM-4 existe actualmente un almacén para los repuestos reparados que se encuentran disponibles para ser utilizados en los trabajos de mantenimiento imprevisto, pero debido a los altos costos de estos elementos, a la alta rotación de los mismos y a los diferentes tipos de fallas que se generan en los helicópteros, en muchas ocasiones los niveles de stocks disponibles no son los suficientes o los adecuados para la solución de los imprevistos, lo que genera demoras en la solución de las averías, afectando la disponibilidad de los helicópteros. Como consecuencia de lo anterior se hace necesario el diseño de un modelo de gestión de inventarios para los reparables que permita mejorar el proceso de logística y reducir los tiempos de mantenimiento imprevisto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 INVENTARIO

Según la F.I.A.E.P los inventarios se definen como “acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa”<sup>2</sup>, por otro lado Ecudero los define como “una relación de los bienes que se disponen, clasificados según familias y por categorías y por lugar de ocupación”<sup>3</sup>. Las empresas utilizan los inventarios con el objetivo de garantizar la disponibilidad de los materiales requeridos en su gestión logística, teniendo en cuenta la aleatoriedad de la demanda y los tiempos de reposición. Estos pueden ser materias primas, componentes, repuestos, insumos y/o productos terminados.

Existen diversas razones por las cuales genera una ventaja para las empresas tener inventarios. De acuerdo con Ballou<sup>4</sup> las principales son las siguientes:

- Mejoramiento del servicio al cliente, en el sentido de satisfacer sus órdenes directamente del inventario disponible, sin producir despachos pendientes u órdenes perdidas.
- Reducción de costos de producción, de compra y/o de transporte de una forma indirecta, a través de la producción o compra de lotes más grandes y más homogéneos, con los cuales se logran economías de escala en la cadena de suministro.
- Reducción de costos de operación, al reducir el impacto de la variabilidad de los tiempos de producción y transporte.
- Implementación de mecanismos para responder a factores externos o internos inesperados, tales como huelgas, demoras excesivas en el envío de materiales, desastres naturales, etc.

De igual manera Ballou plantea también algunas desventajas de mantener inventarios, tales como:

- Absorción excesiva de capital sin adicionar un valor significativo al producto.
- Enmascaramiento de problemas de calidad, los cuales pueden permanecer

---

<sup>2</sup> FIAEP, Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales. Control y manejo de inventario y almacén, 2014, p. 10.

<sup>3</sup> ESCUADERO SERRANO, María José . Operaciones de almacenaje [en línea] (2009), p.20. Consultado 3 de julio 2016,. Disponible en internet: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199316.pdf>

<sup>4</sup> BALLOU, Ronald H., Business Logistics Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain, 4ª Edición, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.

ocultos y tardar mucho tiempo en ser corregidos.

2.1.1 Tipos de inventarios. Los inventarios se pueden clasificar según sus características físicas o según su función.

De acuerdo a las características físicas de los objetos a contar los inventarios pueden ser:

- Inventarios de materia prima, que constituyen los insumos y materiales básicos que entran al proceso de producción.
- Inventarios de producto en proceso, los cuales son materiales en proceso de producción.
- Inventario de producto terminado, son los materiales que han pasado por el proceso productivo y se encuentran aptos para la venta
- Inventarios de materiales soporte de operaciones, son aquellos productos que no hacen parte directa del proceso productivo pero hacen posible las operaciones productivas de la misma. Pueden ser piezas, repuestos, artículos de oficina, etc.

Según Silver<sup>5</sup> existen seis tipos funcionales de inventarios, los cuales son:

- Inventario cíclico: resultan de producir u ordenar en lotes en vez de unidad por unidad.
- Inventario de congestión: se forman cuando varios ítems comparten el mismo equipo de producción o hay tiempos de alistamiento grandes y los ítems deben esperar a que el equipo esté disponible.
- Inventario de seguridad: es el que se mantiene disponible para compensar los riesgos de paradas no planeadas o aumento de la demanda de los clientes.
- Inventario de anticipación: es el inventario que se acumula en tiempos de demanda baja para satisfacer los picos de demanda.
- Inventario en tránsito: son aquellos ítems que se encuentran en tránsito ya sea en la cadena de producción o la cadena de abastecimiento.
- Inventario en separación: es utilizado en sistemas de varios puntos de almacenamiento, en donde la toma de decisiones relacionadas con los inventarios de cada una de las bodegas del proceso es independiente.

---

<sup>5</sup> SILVER, Edward A., PYKE David F. y PETERSON Rein, Inventory Management and Production Planning and Scheduling, 3ª Edición, John Wiley & Sons, New York, 1998.

2.1.2 Repuestos. Los repuestos hacen parte de los inventarios soporte de operaciones y representan todos aquellos componentes que podemos reemplazar de un sistema para mantener la operatividad del mismo. Los repuestos son importantes en cualquier sistema de producción o mantenimiento, teniendo en cuenta que si no se tienen disponibles cuando se requieren no se podrá garantizar la continuidad operativa de la maquina que lo requiere afectando todo el sistema de producción o mantenimiento.

Los repuestos se pueden clasificar según su destino final, según su procedencia y según su uso<sup>6</sup>:

- Según su destino final:
  - Reparables: Pueden ser reparados después de ser utilizados durante cierto tiempo, pueden ser piezas de cierto valor y plazos de entrega largos.
  - Desechables: elementos con vida útil clara, y que no son reutilizables. Son piezas de alta rotación y plazos de entrega cortos. Pertenecen a este grupo los desechables y los contaminantes.
  
- Según la procedencia:
  - Fabricación propia
  - Nacional
  - Importación
  
- Según su uso:
  - Específicos: Procesos, transportes, servicios
  - Comunes: Motores, reductores, bombas, instrumentos
  - Típicos: rodamientos, correas, tornillos

## 2.2 GESTIÓN DE INVENTARIOS

La gestión de inventarios de acuerdo a Ferrer y Villarroel<sup>7</sup> es un proceso mediante el cual se debe determinar que producto comprar, en que cantidades, a que precio y en que momento. Esto es uno de los retos mas grandes que se tiene en la gestión logística de inventarios, según Vidal por lo general “ siempre tenemos demasiado de los que no se vende o se consume y muchos agotados de lo que si se vende o se consume”<sup>8</sup>

Para FIAEP “se entiende por la gestión o administración de inventarios, todo lo relativo al control y manejo de existencias de determinados bienes, en la cual

---

<sup>6</sup> GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Principios de mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, 2008.

<sup>7</sup> RUBIO FERRER, José y VILLARROEL VALDEMORO, Susana, Gestión y pedido de stock. Ministerio de educación de España, 2012, p.11.

<sup>8</sup> VIDAL, Carlos Julio. Fundamentos de Gestión de Inventarios. Tercera edición. Universidad del Valle, Facultad de ingeniera. Santiago de Cali, 2005, p. 10-12.

se aplican métodos y estrategias que pueden hacer rentable y productivo la tenencia de estos bienes y a la vez sirve para evaluar los procedimientos de entradas y salidas de dichos productos”<sup>9</sup>.

El manejo de los inventarios es de vital importancia ya que estos determinan en gran parte la asignación de los costos en el proceso logístico de una empresa.

El costo de tener altos niveles de inventarios puede llevar a una empresa a tener problemas de liquidez financiera, esto se genera porque el inventario congelado inmoviliza recursos que podrían ser utilizados en funciones productivas de la organización. Por otro lado un inventario insuficiente podría generar pérdidas de mercado, reducción de ganancias y la no satisfacción de los clientes.

Para lograr una eficiente administración de los inventarios los responsables deben controlar los niveles de inventario y considerar que este es una inversión significativa, que si no se maneja puede afectar la gestión financiera de una empresa.

Para la solución de los problemas frecuentes de desbalance de inventarios, Vidal propone el diseño e implementación de estrategias adecuadas de control a través de las siguientes alternativas:

- Utilización de sistemas adecuados de pronóstico de demanda, que permitan estimar los patrones, promedios y variabilidad de la demanda de los ítems de inventarios. Así como la utilización de datos confiables, correcta definición del periodo de pronóstico y la no inclusión de datos atípicos.
- Medición adecuada de los tiempos de reposición y su variabilidad.
- Implementación de la clasificación ABC para establecer las prioridades de la administración y diferenciar los sistemas de control por las categorías de los ítems. Concentrando los esfuerzos en los ítems clase A y los primeros ítems clase B (de mediana importancia).
- Definición de los lugares adecuados de almacenamiento.
- Depuración periódica del inventario.

---

<sup>9</sup>FIAEP, Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales. Control y manejo de inventario y almacén, 2014, p.10.

Según Vidal, cualquier sistema de administración de inventarios debe resolver tres preguntas fundamentales para cada ítem en particular:

- Con qué frecuencia debe revisarse el inventario del ítem?
- Cuándo debe ordenarse el ítem?
- Qué cantidad debe ordenarse en cada compra?

Estas preguntas enmarcan el proceso decisorio general con respecto de inventarios y serán la clave para definir las características de los diferentes tipos de control de inventarios.

2.2.1 Clasificación de Inventario. Wilfrido Pareto fue un economista italiano que afirmó que el 20% de las personas posee el 80% de las riquezas. Esta afirmación aplicada a la gestión de inventarios significa que unos pocos materiales representan mayor valor para una empresa.

La clasificación ABC es un método para la clasificación de los productos de acuerdo a los criterios establecidos ( costo unitario, demanda del producto). Esta metodología resulta del principio de Pareto.

En la aplicación del sistema de costos ABC en una empresa, se empieza por la clasificación en grupos de artículos. Para definir cuáles ítems deben formar parte de cada clase (A, B o C), se escoge un porcentaje de mayor a menor, de acuerdo al orden secuencial dado por la mayor utilización de los ítems. El criterio de clasificación por costo es el mas utilizado en las empresas.

- Artículos “A”: Son aquellos que representan los mayores costos de inversión de la empresa, es decir son los mas costosos o los que tienen una rotación mas lenta. Generalmente, representan el 10% del inventario pero absorben el 80% de la inversión. Los elementos de esta zona son los que requieren los mayores esfuerzos de control para garantizar una disponibilidad y gestión logística eficiente.
- Artículos “B”: Son aquellos que representan el 30% de los artículos que requieren el 15% de la inversión. Para este tipo de elementos se deben realizar revisiones periódicas de inventario y se deben contar con un stock de seguridad para evitar el quiebre de inventario.
- Artículos “C”: Corresponden a la inversión mas pequeña, son aproximadamente el 60% de los artículos de inventario pero representan el 5% de la inversión de la empresa. Es la zona que contara con un mayor numero de inventario, para su control se utilizan sistemas de control que permita realizar el seguimiento a las existencias, con esto se podrá tener

un sistema para la generación de las ordenes de pedido sin necesidad de verificaciones físicas de las existencias.

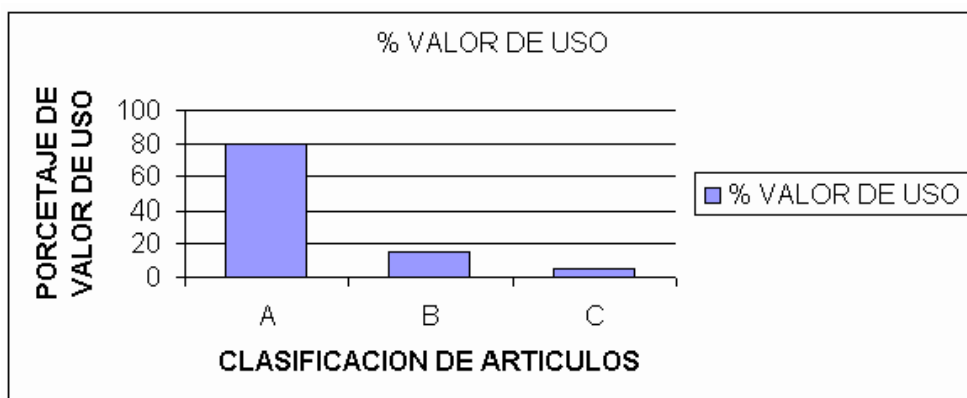
La decisión final sobre estos porcentajes depende de cada caso en particular y de las capacidades de computación que se tengan para el control de cada tipo de ítem.

Este procedimiento permite clasificar los inventarios, para lograr la identificación de los artículos a los cuales se les debe realizar un mayor esfuerzo en la gestión de inventario por representar los mayores costos de inversión a la empresa.

La grafica de Pareto se podría representar de la siguiente manera<sup>10</sup>:

1. Obtener para cada artículo el precio promedio y el consumo real en un periodo de un año (preferiblemente).
2. Multiplicar ambos valores.
3. Colocar en orden, de mayor a menor.
4. Sumar todos los valores y dividir cada uno entre el total de la suma.
5. Sumar estos valores hasta llegar a 0.80.
6. Colocar "A" a estos materiales.
7. Repetir hasta 0.95 para "B" y hasta 1.0 para "C".

Figura 2. Diagrama de Pareto



Fuente: Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales, 2014.

<sup>10</sup> FIAEP, Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales. Control y manejo de inventario y almacén, 2014, p. 23.

2.2.2 Clasificación por Criticidad. Otro factor que se debe tener en cuenta en el proceso de clasificación de inventarios es la criticidad de los mismos, es decir que impacto se puede generar en el proceso de producción o logístico por no tener el elemento.

La clasificación por criticidad es una herramienta muy útil en el proceso de clasificación de inventarios, pero al realizar una unión con el método ABC, se puede lograr un mejor resultado ya que se lograra determinar de una mejor forma cuales son los elementos a los que se les debe realizar un mayor esfuerzo y sobre los cuales se deben aplicar medidas de control mas eficientes.

2.2.3 Puntos de Pedido. Para determinar los puntos de pedido de los inventarios se deben tener en cuenta varios factores, los cuales son claves a la hora de realizar la planeación para determinar los niveles requeridos de inventario y el momento en que se realizar el próximo pedido, estos factores son:

- El indicador de rotación de inventarios, es la relación entre el costo de ventas periódicas y el inventario promedio durante el periodo.
- Los valores unitarios de cada ítem, corresponde al precio pagado al proveedor.
- El costo de llevar o mantener el inventario, que incluye los costos de almacenamiento y manejo, los costos del espacio utilizado, los costos de capital, los seguros e impuestos y los costos de riesgo.
- Costos de ordenamiento, aquellos costos asociados con la realización de cada orden para reponer el inventario.
- Costo de falta de inventario, es el costo que se genera por no tener el inventario requerido para los procesos de producción o mantenimiento.
- Tiempos de reposición o lead time, es el tiempo que transcurre entre la generación de la orden y la llegada del articulo.
- Tipo y patrón de demanda, un aspecto muy importante es definir si la demanda es independiente, dependiente o derivada. Así como si el tipo de patrón de demanda es perpetua o estacionaria ( presenta variaciones pequeñas en el tiempo), periódico o estacional ( presenta picos en determinadas épocas del año) y patrón de demanda errática ( genera grandes variaciones en el tiempo que no pueden ser predecibles)

2.2.4 Stock de Seguridad. El inventario de seguridad depende de las fluctuaciones de la demanda durante el tiempo de reposición, o equivalente, de la desviación estándar de los errores del pronóstico de demanda total sobre el tiempo de reposición.<sup>11</sup>

Para determinar el stock de seguridad es necesario realizar un análisis de la variabilidad de la demanda, la velocidad de entrega de los pedidos, los lead times, la puntualidad, el cumplimiento de los pedidos y el costo de no tener, con el fin de determinar cual será el stock de seguridad mas adecuado para la empresa.

### 2.3 REPUESTOS CENTRADOS EN CONFIABILIDAD - RCS

Es una técnica derivada directamente del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Esta tecnica no se basa en las recomendaciones del fabricante ni es juicios subjetivos sino que tiene en cuenta las características de consumo de cada repuesto y las consecuencias de no tener el mismo.

El RCS es aplicable a cualquier inventario de repuestos, sean consumibles de alta rotación o repuestos de seguridad de baja rotación, permitiendo alcanzar ahorros significativos en la empresa.

El metodo de repuestos centrados en confiabilidad consiste en hacer una serie de preguntas sobre los modos y efectos de falla y los efectos por la indisponibilidad de los repuestos, para poder establecer los niveles de inventario para cada uno.

Las cinco preguntas basicas del RCS son<sup>12</sup>:

- ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento del equipo?
- ¿Qué ocurre si no se dispone del repuesto?
- ¿Es posible predecir la necesidad del repuesto?
- ¿Qué inventario del repuesto es necesario?
- ¿Qué ocurre si los requerimientos de mantenimiento no pueden ser cumplidos?

La primera pregunta se responde realizando un analisis de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, para la segunda pregunta se realiza un analisis

---

<sup>11</sup> VIDAL, Carlos Julio. Fundamentos de Gestión de Inventarios. Tercera edición. Universidad del Valle, Facultad de ingeniera. Santiago de Cali, 2005, p. 134

<sup>12</sup> Reliability centred spares. Traducido por ELLMANN, SUEIRO y ASOCIADOS, Buenos Aires, Argentina, 11p. (Copyright © 1997 Information Science Consultants Ltd)

de las consecuencias de no tener el repuesto a nivel operacional, de seguridad y medio ambiente, para definir una política de stock adecuada para cada repuesto.

El RCS maneja cinco categorías de consecuencias:

- Ocultas (Riesgo incrementado): el faltante no genera consecuencias, pero puede aumentar la probabilidad de ocurrencia de otra falla de seguridad.
- Ambientales: el faltante genera el incumplimiento de una norma o regulación ambiental.
- Operacionales: el faltante genera una pérdida de producción o económica a la empresa.
- No operacionales: el efecto del faltante se limita a los costos de adquisición o reparación.

En la tercera pregunta se analiza si es posible anticipar o no la falla de los repuestos, teniendo en cuenta que algunos tienen una demanda dependiente, es decir su cambio responde a mantenimientos planificados y otros son requeridos para solucionar mantenimientos correctivos o al aplicar mantenimiento basado en condición, por lo cual no es posible saber cuándo serán requeridos.

Si no es posible anticipar las necesidades de los repuestos en la cuarta pregunta se analiza cuántos repuestos se necesitan para cubrir los requerimientos de mantenimiento y producción. Para responder esta pregunta se tienen en cuenta nuevamente las consecuencias de los faltantes.

En la última pregunta se analizan los costos adicionales generados por la falta de un repuesto, estos costos están relacionados con la afectación generada en el proceso de producción o mantenimiento, lo cual provoca pérdida de ventas, pérdida de materias primas, retrabajos, impacto negativo en la imagen de la empresa y pérdida de clientes. Para establecer el nivel de repuestos óptimo se busca un balance entre el costo total de tener y el costo de los faltantes.

### 3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

#### 3.1 HISTORIAL DE REPUESTOS EN ERP DE SAP

Para el desarrollo de las tareas de mantenimiento que se realizan en los helicópteros, se requiere de gran cantidad de insumos y repuestos para lograr la correcta ejecución de las tareas que permitan asegurar la confiabilidad de los helicópteros y evitar que un helicóptero quede en tierra por la falta de estos elementos.

De acuerdo con un estudio realizado por Schradly<sup>13</sup> los inventarios reparables representan solo un 7% de los productos almacenados pero supone en 58% del valor de lo almacenado, por lo que estos tienen un alto impacto en la disponibilidad de los helicópteros y en los costos de los inventarios. Estos son elementos de alto coste, por lo que es mejor repararlos que desecharlos y adquirir uno nuevo.

Del ERP del SAP se obtuvo el historial de los diferentes reparables utilizados en los trabajos de mantenimiento imprevisto realizados a los helicópteros, durante el periodo de enero a noviembre del 2016, se realizaron movimientos de 290 reparables diferentes, los cuales presentaron frecuencias de consumo variables. En el siguiente cuadro se presenta el numero de movimientos realizados por cada ítem.

Tabla 1. Historial movimientos de reparables en mantenimiento imprevisto

MATERIAL	DESCRIPCION	MOVIMIENTOS
1000157	VHF/FM RADIO SET	1
1000163	RECEIVER-EXCITER,RADAR	1
1000402	ALTIMETER PRESSURE	5
1006906	LIGHT, LANDING, AIRCRAFT	1
1011799	TRIMBLE POSITION	1
1016276	FLUX VALVE	1
1016754	FUEL CONTROL, MAIN, TURBINE ENGINE	2
1016799	INDICATOR TACHOMETER N1	1
1016822	HANGER ASSEMBLY, DRI	10
1017927	METER, SPECIAL SCALE	3
1021604	SHAFT ASSY, TAILROTO	14
1021608	VALVE, GATE	3
1023135	NETWORK, PHASE CHANGING	1
1048688	INDICATOR, PRESSURE	2
1048700	CLOCK, PANEL	2
1048739	REDUCTION GEARBOX	1

<sup>13</sup> SCHRADY, David. (1967). A Deterministic Inventory Model for Repairable Items. Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 14, No 3, 1967, p.391.

1048852	CONTROL,DIRECTIONAL,AUTOMATIC PILOT	3
1048866	INDICATOR,HEIGHT	4
1048868	HSI	3
1048871	COMPUTER,NAVIGATIONAL	3
1048872	NAVIGATION SET,SATELLITE SIGNALS	2
1048878	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO	2
1048882	TRANSPONDER SET	3
1048883	RECEIVER,RADIO	3
1048884	EQUIPO VOR 2	2
1048889	INDICATOR,RADIO-MAGNETIC COMPASS	2
1048901	TRANSMITTER,INDUCTION COMPASS	3
1048904	CONTROL,DIRECTION FINDER	1
1048912	COMM CONTROL	3
1048913	CONTROL,COMMUNICATION SYSTEM	1
1048914	VOR NAVIGATION SYSTEM 2	2
1048939	INDICATOR,HORIZONTAL SITUATION	8
1048940	INDICATOR,ATTITUDE	7
1048943	SPEED GOVERNOR	4
1048946	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	4
1048960	NAVIGATION SET,SATELLITE SIGNALS	1
1048981	DAMPENER,FLUTTER	1
1048994	SWASHPLATE,CONTROLLABLE	1
1048995	SCISSORS AND SLEEVE	1
1049006	M/R HUB	2
1049025	MAST ASSEMBLY,PYLON	3
1049029	SHAFT ASSY,TAIL ROT	4
1049032	STARTER GENERATOR	11
1049034	INDICATOR,ELECTRICAL TACHO	1
1049035	MOTOR,WINDSHIELD WIPER,ELECTRIC	1
1049056	ELEVATOR,AIRCRAFT	2
1049082	BLOWER ASSY	4
1049094	CARTRIDGE,AIRCRAFT FIRE EXTINGUISHER	1
1049095	INDICATOR	1
1049098	WARNING CAUTION PANEL	1
1049108	STABILIZER BAR ASSY	1
1049109	LEVER ASSEMBLY,AIRC	1
1049115	BLADE,ROTARY RUDDER	2
1049119	BRACKET,EYE,NONROTATING SHAFT	4
1049124	BLADE,ROTARY WING	10
1049143	TRANSMISION	1
1049146	GEARBOX ASSEMBLY	6
1049148	GEARBOX ASSEMBLY	1
1049151	DRIVE SHAFT ASSEMBL	4
1049158	HANGER,DRIVESHAFT,T	7
1049170	INDICATOR,ELECTRICAL TACHOMETER	3
1049172	INDICATOR,AIRCRAFT	2
1049173	AIRSPEED INDICATOR	8
1049175	ALTIMETER,PRESSURE	4
1049179	INDICATOR,TEMPERATURE,SYNCHRO	1
1049181	INDICATOR,TEMPERATURE,THERMOCOUPLE	5
1049187	CYLINDER HYD ASSY	1
1049191	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	2
1049194	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	2

1049197	PUMP,AXIAL PISTONS	1
1049203	LEFT FWD FUEL CELL	1
1049205	LEFT AFT CELL	1
1049206	RIGHT AFT CELL	2
1049222	FUEL CONTROL,MAIN,T	2
1049227	GOVERNOR,TURBINE	3
1049260	DETECTOR,SMOKE	1
1049267	GENERATOR,DIRECT CURRENT	3
1049282	CONTROL UNIT,TORQUE	1
1049285	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	1
1049288	FUEL CONTROL,MANUAL	2
1049307	M/R DAMPER	2
1049334	TOT IND SYSTEM	1
1049335	STARTER-GENERATOR,ENGINE,AIRCRAFT	1
1049558	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	2
1049565	SYNCHRONIZER,ELECTRICAL	4
1049623	AFT RH FLOOR PANEL	1
1049680	VELOCIMETRO	1
1049863	RADIO FM TADIRAN	2
1049900	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-PROP PT6T-3B	3
1059783	RELAY,ELECTROMAGNET	1
1060966	GYROSCOPE,DISPLACEMENT	11
1061956	VALVE,LINEAR,DIRECTIONAL CONTROL	1
1062201	PANEL,STRUCTURAL,AIRCRAFT	1
1062373	PUMP,SUBMERGED,AIRCRAFT	2
1062652	BLOWER ASSY	7
1062858	PUMP,ROTARY	1
1063493	GENERATOR,DIRECT CURRENT	5
1064585	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	1
1066686	LIGHT,LANDING,AIRCRAFT	3
1068749	MOTOR,WINDSHIELD WIPER,ELECTRIC	1
1068908	TRANCEPTOR GPS TRIMBLE	1
1068922	DAMPER ASSY,STABILI	26
1068954	ACTUATOR	3
1069029	MASTER CAUTION	2
1069128	INDICATOR TACHOMETER	2
1069131	INDICATOR DUAL TACHOMETER	1
1069132	INDICATOR,VERTICAL VELOCITY	5
1069146	INDICADOR TACHOMETER	1
1069153	CLOCK,PANEL	1
1069163	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	1
1069164	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	1
1069165	POMPA	1
1069166	CHECK VALVE	4
1069173	CONTROL INTERFONO A-301-6WA	2
1069179	GYROSCOPE,RATE	5
1069226	LIGHT,ANTI-COLLISIO	1
1069232	FCC DATA KDM 706A	1
1069289	COMPASS,ASTRO	2
1070031	CAJA CONTROL KFS 598	1
1070128	GEARSHAFT,BEVEL	2
1070140	ACTUATOR,ELECTRO-MECHANICAL,LINEAR	3
1070212	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	1

1070213	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	7
1070225	COOLER,LUBRICATING OIL,ENGINE	3
1070228	BLADE,ROTARY RUDDER	2
1070279	INDICATOR,TURN AND SLIP	2
1070323	REGULATOR,VOLTAGE	12
1070639	BRAKE,MAGNETIC	4
1070660	ACTUATOR,ELECTRO-MECHANICAL,LINEAR	1
1070673	INDICATOR,AIRCRAFT	3
1070681	SERVO	1
1070696	MOTOR,DIRECT CURRENT	1
1070701	PUMP,SUBMERGED,AIRCRAFT	3
1070706	INDICATOR,AIR SPEED	1
1070716	ALTIMETER PRESSURE	1
1070748	MOTOR,WINDSHIELD WIPER,ELECTRIC	1
1070762	TURBINE FAN,ENGINE	2
1070997	CONTROL COMM INTERFONO, ANDREA	2
1071004	SHAFT ASSEMBLY,TAIL	5
1072658	PUMP,AXIAL PISTONS	1
1072659	COMPUTER,ALTITUDE	2
1072660	LIGHT,NAVIGATIONAL,AIRCRAFT	5
1073145	INDICATOR,TURN AND SLIP	1
1073289	VOLTMETER	1
1073546	SWITCH, FUEL QUANTITY CHECK	1
1074218	BORRADO FLOOR	1
1074883	GOVERNOR,OVERSPEED	5
1074887	ACTUATOR,ELECTRO-MECHANICAL,LINEAR	5
1074892	GENERATOR,TACHOMETER	5
1083834	INDICATOR,ELECTRICAL TACHOMETER	7
1084020	TRANSMITTER,INDUCTION COMPASS	1
1084138	TRANSPONDER SET	1
1084161	NAVIGATION SET,SATELLITE SIGNALS	3
1084196	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	6
1085546	ALTIMETER,PRESSURE	1
1085547	ALTIMETER PRESSURE	1
1087750	TRANSMISION ASSY,H	1
1087751	INDICATOR,ATTITUDE	7
1087956	INTERFACE UNIT,COMMUNICATION EQUIPMENT	1
1091475	VALVE,HYDRAULIC,PRE	4
1091646	SERVOCYLINDER	1
1100093	TORQUE, INDICATOR	1
1100429	PUMP,AXIAL PISTONS	1
1100580	AIR SPEED	9
1101512	INDICATOR,ATTITUDE	3
1101525	CONTROL,INTERCOMMUNICATION	3
1101536	INDICATOR PRESSURE	4
1102024	BRUJULA	2
1102067	GENERADOR TACOMETRO	1
1102306	IND OIL PRESS	1
1102309	DAMPENER,FLUTTER	11
1102323	HUB,ROTOR,HELICOPTER	1
1102338	PANEL,FAULT-FUNCTION INDICATOR,AIRCRAFT	2
1102357	SERVO CYLINDER	17
1102358	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	5

1102424	RECEIVER RADIO VOR	1
1102447	MOTOR-GENERATOR	5
1112537	RADIO,ULTRA HIGH FR	2
1120596	ALARM SET,PILOT WARNING	8
1121113	GENERADOR TACOMETRO	1
1128696	LIGHT,LANDING,AIRCRAFT	15
1132469	INDICATOR,ATTITUDE	2
1132472	GYROSCOPE,DISPLACEMENT	3
1132473	INDICATOR,ATTITUDE	3
1132474	STARTER-GENERATOR,ENGINE,AIRCRAFT	3
1136829	INDICATOR PRESS OIL	1
1137980	CONTROL,INTERCOMMUNICATION SET	1
1139450	INDICATOR,ATTITUDE	1
1139791	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO	8
1140357	BLOWER ASSY	1
1161300	NETWORK,PHASE CHANG	1
1162902	CYLINDER ASSEMBLY,HYDRAULIC BRAKE,WHEEL	9
1164344	PUMP AXIAL PISTONS	3
1164389	BRAKE,MAGNETIC	1
1164495	INDICATOR,ELECTRICAL TACHOMETER	2
1164545	PUMP AND RESERVOIR	2
1164554	HANGAR ASSY,AIRCRAF	2
1164565	NOZZLE,FUEL INJECTION	3
1164757	VALVE,SAFETY RELIEF	2
1164775	BLADE MR 206	4
1164850	IND OIL TEMP	5
1164857	IND GAS PORDUCER	2
1164859	IND TORQUE	1
1164869	IND. TURB OUT TEMP	4
1164940	PUMP,SUBMERGED,AIRC	3
1165024	LIGHT,NAVIGATIONAL,AIRCRAFT	2
1165105	INDICADOR TACHOMETER	3
1165169	CONTROL,INTERCOMMUNICATION SET	1
1169808	LINER,BEARING HOUSING	1
1173674	CUTOUT RELAY,ENGINE	1
1183205	RECEIVER-TRANSMITTE	11
1183207	GPS SYSTEM	1
1183231	ATTITUDE INDICATION COPILOTO	2
1183239	SWASHPLATE,CONTROLLABLE	4
1183241	MAIN ROTOR HUB ASSY	3
1183243	WIPER SYSTEM RH	1
1183378	EMERGENCY LOCATION BEACON	1
1183456	INDICATOR,VERTICAL VELOCITY	1
1183718	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO	3
1183918	SERVOCYLINDER	10
1183929	STARTER-GENERATOR,ENGINE,AIRCRAFT	2
1198317	INDICATOR,BEARING-DISTANCE-HEADING	1
1198327	ADF CONTROL	1
1204836	LANDING LIGHT	1
1205527	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	1
1205552	HUB ASSY, MAIN ROTOR	5
1205556	MAST ASSEMBLY	1
1205557	TRANSMISSION,MECHANICAL,HELICOPTER	1

1208005	TEMPERATURE INDICATOR	1
1208116	RELAY,ELECTROMAGNET	2
1290118	MANIFOLD ASSEMBLY,C	4
1302351	AUXILIAR FUEL SYSTEM	1
1304754	ELT C406-2HM ARTEX	1
1309178	BLADE,ROTARY WING	1
1309179	GEAR BOX ASSEMBLY,T	6
1312994	AIRCRAFT AUDIO	1
1315081	ATTITUDE INDICATOR	2
1332384	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAF	1
1341039	RADIO MAGNETIC COMPAS	1
1341155	AUXILIAR FUEL SYSTEM	1
1347853	VHF COMM CONTROL KFS 598	1
1348645	TELEFONO IRIDIUM 9505A	1
1355018	BORRADO HOUMETER	1
1391119	INDICATOR TACHOMETER	1
1400769	INDICATOR,TURN AND SLIP	2
1404501	GENERATOR,TACHOMETER	1
1439990	COOLER,LUBRICATING OIL,ENGINE	5
1450564	LANDING LIGHT	6
1452921	MAIN GENERATOR	2
1453677	TAIL BOOM ASSY	1
1453696	GOVERNOR	1
1453736	CONTROL,INTERCOMMUNICATION SET	1
1455851	BLOWER	5
1457016	TAIL ROTOR GEARBOX	2
1457043	MAIN ROTOR BLADE ASSY	1
1463411	HUB ASSEMBLY,MAIN	1
1463414	SWASHPLATE,CONTROLLABLE	1
1463417	TAIL ROTOR YOKE	1
1463422	SHAFT ASSEMBLY,TAIL	1
1463426	ALTIMETER,PRESSURE	2
1463437	IND. EGT	1
1463442	INTERCOMMUNICATION BOX 1	1
1483469	CONTROL,RADIO SET	1
1483580	HANGER ASSY AIRCRAFT	4
1484007	GENERATOR,TACHOMETER	1
1494148	ACTUATOR LINEAR	2
1498267	COOLER,OIL,TRANSMIS	2
1498269	INDICATOR,PRESSURE	1
1498849	VIDEO GRABADORA DIGITAL	1
1501977	ELT MODELO ADT 406 AP	2
1502459	PITCH	1
1521151	HANGER ASSY	2
1524972	REGULADOR DE VOLTAGE	5
1525033	INVERTER DINAMIC	1
1529588	CRADLE TELEPHONE	4
1529748	CONVERTER,SIGNAL DATA	1
1532702	FREEWHEELING	1
1533478	PHONE, PORTABLE 9505A MONACO	1
1537919	MGT INDICATOR	3
1543237	PRESS AND TEMP OIL XMSN	1
1543238	PRESS AND TEMP OIL ENG	1

1543243	AUDIO CONTROLLER / INTERCOM	4
1549786	RADAR ALTIMETRO	3
1549795	SERVOCYLINDER	7
1549796	TAIL ROTOR BLADE	2
1549799	GEARBOX 42	3
1549813	TORQUE PRESSURE IND	8
1549815	HSI KI 825	6
1549819	DIGITAL VIDEO RECORDER	2
1549822	MOVING MAP PROCESOR	1
1551851	ELECTRONIC KI-825	1
1631278	SERVO CILINDER HYD	1
1640193	PUMP,AXIAL PISTONS	1
1640209	LOAD METER	1
1657213	COMPASS,MAGNETIC,MOUNTED	1
1657214	SERVO CYLINDER	2
1689697	BLOWER ASSY	1
1706215	RELAY SELENOIDE	2
1721630	RECEIBER-TRANSMITTER RADIO	1

El costo total de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto durante este rango de tiempo, supera los siete mil millones de pesos, teniendo en cuenta los altos valores unitarios que presentan varios de estos ítems.

### 3.2 INFORMACIÓN DE INVENTARIOS OBTENIDOS EN EL ALMACÉN DE LA EMPRESA

Para el manejo de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto actualmente en el almacén se realiza una clasificación ABC de estos, teniendo en cuenta cuales son los ítems utilizados con mayor frecuencia y su promedio de consumo, para esto se utiliza el historial del ERP de SAP.

Actualmente de acuerdo a la información recolectada, para realizar los pronósticos de inventario de los reparables utilizados en las tareas de mantenimiento imprevisto que se presentan en los helicópteros, solo se consideran las estadísticas de consumo del material.

Con la información obtenida y con las existencias físicas en el almacén se determinan cuantos y para que ítems se va a asignar presupuesto para su reparación, con el objetivo de asegurar su disponibilidad cuando sean requeridos para la ejecución de los mantenimientos imprevistos. Permittedose que con el presupuesto asignado se realicen ajustes de cantidades e ítems a lo largo del año de acuerdo a las necesidades que se presentan.

Para los repuestos reparados utilizados en los helicópteros su reparación se debe realizar en el exterior y el tiempo promedio que toma el proceso de adjudicación y reparación es de 10 días llegando en algunas ocasiones a

demorar mas de 60 días por fallas adicionales que se encuentran en los elementos, esto a pesar que su tramite se maneja bajo la modalidad de AOG (Aircraft on ground) dándoles un nivel de criticidad alto y una mayor rapidez en el proceso de adjudicación y entrega.

El procedimiento para el envío a reparación de los reparables inicia cuando el personal de mantenimiento después de realizar las verificaciones con el almacén no encuentra el elemento que requiere para solucionar un mantenimiento imprevisto. El procedimiento establecido para el pedido del material es el siguiente.

1. Diligenciamiento del formato para la solicitud de pedido. Este formato debe ser diligenciado por el jefe de taller encargado de la tarea de mantenimiento.
2. Verificación en el sistema SAP de las existencias en las demás unidades de la Fuerza Aérea Colombiana y de los intercambiables. Si llegan a encontrarse existencias se realiza la solicitud a la Unidad.
3. Verificación en el sistema SAP de las existencias en otras Fuerzas. Si llegan a encontrarse existencias se realiza la solicitud a la Fuerza donde se encontraron existencias.
4. Se realiza pedido en el sistema SAP
5. Se diligencia formato para ser enviado a DICMA (Dirección de Mantenimiento), en donde pasa a estudio para verificación de existencias nuevamente. Si se llegan a encontrar existencias se notifica a la Unidad que genero la solicitud, para que inicie el tramite de préstamo.
6. Se genera solicitud de pedido y se envía a DIPLO (Dirección de Procesos Logísticos)
7. Se realiza en tramite contractual
8. Se realiza la entrega del material en DICEX (Dirección de Comercio Exterior) y se inicia proceso de nacionalización.
9. Se realiza la entrega del material a la Unidad solicitante y se efectúa el ingreso al sistema del material al sistema previa verificación por parte del inspector del helicóptero.

### 3.3 ROTATIVIDAD DE REPARABLES EN MANTENIMIENTO IMPREVISTO

La rotación es la medida con la que se calcula el numero de veces que un inventario se mueve en su totalidad en una unidad de tiempo determinada.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> CRUZ RODRÍGUEZ, Hermes, Estrategias de inventarios, [en línea] (2011). Consultado 22 de febrero 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/jhaltuzarra/manejo-y-control-de-inventarios>

$$R = \frac{\text{Consumo del inventario}}{\text{Inventario Promedio}}$$

$$\text{Inv Promedio} = \frac{\text{Inv inicial} + \text{Inv Final}}{2}$$

Algunas de las ventajas que puede tener una empresa con alta rotación de inventario, son:

- Una menor inversión en stock, ya que las existencias pasan menos tiempo en el almacén y, por tanto, hay menos dinero inmovilizado en existencias.
- Al reducirse el stock medio, los costes de almacenamiento disminuyen.
- Es más difícil que las existencias se queden obsoletas.

Sin embargo para poder determinar la rotación ideal de inventario, se deberá tener en cuenta el tiempo que le toma a la empresa adquirir de nuevo los productos. La rotación no deberá ser tan alta que afecte la disponibilidad de los productos, ni tan baja que implique tener productos almacenados por mucho tiempo en los almacenes.

De acuerdo a la información obtenida del ERP de SAP se determino en nivel de rotación de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, teniendo en cuenta el inventario promedio, los movimientos de inventario de cada ítem y los costos del inventario. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 2. Rotación de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto en el 2016

MATERIAL	DESCRIPCION	ROTACION
1165169	CONTROL,INTERCOMMUNICATION SET	0,02
1070696	MOTOR,DIRECT CURRENT	0,04
1068749	MOTOR,WINDSHIELD WIPER,ELECTRIC	0,07
1309178	BLADE,ROTARY WING	0,07
1069146	INDICADOR TACHOMETER	0,08
1070762	TURBINE FAN,ENGINE	0,09
1073289	VOLTMETER	0,09
1136829	INDICATOR PRESS OIL	0,09
1640209	LOAD METER	0,12
1404501	GENERATOR,TACHOMETER	0,13
1173674	CUTOOUT RELAY,ENGINE	0,15
1463422	SHAFT ASSEMBLY,TAIL	0,15
1463414	SWASHPLATE,CONTROLLABLE	0,17

1484007	GENERATOR,TACHOMETER	0,17
1087956	INTERFACE UNIT,COMMUNICATION EQUIPMENT	0,20
1101536	INDICATOR PRESSURE	0,20
1640193	PUMP,AXIAL PISTONS	0,20
1066686	LIGHT,LANDING,AIRCRAFT	0,22
1069165	POMPA	0,22
1102424	RECEIVER RADIO VOR	0,22
1721630	RECEIBER-TRANSMITTER. RADIO	0,22
1048960	NAVIGATION SET,SATELLITE SIGNALS	0,29
1049203	LEFT FWD FUEL CELL	0,29
1064585	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	0,29
1100429	PUMP,AXIAL PISTONS	0,29
1302351	AUXILIAR FUEL SYSTEM	0,29
1501977	ELT MODELO ADT 406 AP	0,29
1543237	PRESS AND TEMP OIL XMSN	0,29
1016822	HANGER ASSEMBLY,DRI	0,31
1102024	BRUJULA	0,31
1011799	TRIMBLE POSITION	0,33
1048688	INDICATOR,PRESSURE	0,33
1048901	TRANSMITTER,INDUCTION COMPASS	0,33
1049558	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	0,33
1069163	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	0,33
1164940	PUMP,SUBMERGED,AIRC	0,35
1049148	GEARBOX ASSEMBLY	0,40
1068954	ACTUATOR	0,40
1084020	TRANSMITTER,INDUCTION COMPASS	0,40
1102306	IND OIL PRESS	0,40
1139450	INDICATOR,ATTITUDE	0,40
1164389	BRAKE,MAGNETIC	0,40
1183456	INDICATOR,VERTICAL VELOCITY	0,40
1102447	MOTOR-GENERATOR	0,43
1074887	ACTUATOR,ELECTRO-MECHANICAL,LINEAR	0,45
1048852	CONTROL,DIRECTIONAL,AUTOMATIC PILOT	0,46
1049170	INDICATOR,ELECTRICAL TACHOMETER	0,46
1049623	AFT RH FLOOR PANEL	0,50
1062201	PANEL,STRUCTURAL,AIRCRAFT	0,50
1068908	TRANCEPTOR GPS TRIMBLE	0,50
1069232	FCC DATA KDM 706A	0,50
1070031	CAJA CONTROL KFS 598	0,50
1070639	BRAKE,MAGNETIC	0,50
1073145	INDICATOR,TURN AND SLIP	0,50
1102067	GENERADOR TACOMETRO	0,50
1112537	RADIO,ULTRA HIGH FR	0,50
1164545	PUMP AND RESERVOIR	0,50
1657213	COMPASS,MAGNETIC,MOUNTED	0,50
1049222	FUEL CONTROL,MAIN,T	0,57
1069289	COMPASS,ASTRO	0,57
1072659	COMPUTER,ALTITUDE	0,57
1074883	GOVERNOR,OVERSPEED	0,59
1455851	BLOWER	0,63
1048913	CONTROL,COMMUNICATION SYSTEM	0,67
1049035	MOTOR,WINDSHIELD WIPER,ELECTRIC	0,67
1049335	STARTER-GENERATOR,ENGINE,AIRCRAFT	0,67

1062858	PUMP,ROTARY	0,67
1070716	ALTIMETER PRESSURE	0,67
1070748	MOTOR,WINDSHIELD WIPER,ELECTRIC	0,67
1071004	SHAFT ASSEMBLY,TAIL	0,67
1102338	PANEL,FAULT-FUNCTION INDICATOR,AIRCRAFT	0,67
1132472	GYROSCOPE,DISPLACEMENT	0,67
1164857	IND GAS PORDUCER	0,67
1164859	IND TORQUE	0,67
1169808	LINER,BEARING HOUSING	0,67
1205527	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	0,67
1341039	RADIO MAGNETIC COMPAS	0,67
1348645	TELEFONO IRIDIUM 9505A	0,67
1463437	IND. EGT	0,67
1483469	CONTROL,RADIO SET	0,67
1502459	PITCH	0,67
1533478	PHONE, PORTABLE 9505A MONACO	0,67
1543238	PRESS AND TEMP OIL ENG	0,67
1072660	LIGHT,NAVIGATIONAL,AIRCRAFT	0,71
1164565	NOZZLE,FUEL INJECTION	0,75
1049288	FUEL CONTROL,MANUAL	0,80
1070279	INDICATOR,TURN AND SLIP	0,80
1208116	RELAY,ELECTROMAGNET	0,80
1290118	MANIFOLD ASSEMBLY,C	0,80
1101512	INDICATOR,ATTITUDE	0,86
1164869	IND. TURB OUT TEMP	0,89
1000402	ALTIMETER PRESSURE	1,00
1048739	REDUCTION GEARBOX	1,00
1049034	INDICATOR,ELECTRICAL TACHO	1,00
1049179	INDICATOR,TEMPERATURE,SYNCHRO	1,00
1069128	INDICATOR TACHOMETER	1,00
1070681	SERVO	1,00
1070706	INDICATOR,AIR SPEED	1,00
1073546	SWITCH, FUEL QUANTITY CHECK	1,00
1091475	VALVE,HYDRAULIC,PRE	1,00
1102309	DAMPENER,FLUTTER	1,00
1102323	HUB,ROTOR,HELICOPTER	1,00
1341155	AUXILIAR FUEL SYSTEM	1,00
1391119	INDICATOR TACHOMETER	1,00
1529748	CONVERTER,SIGNAL DATA	1,00
1549796	TAIL ROTOR BLADE	1,00
1083834	INDICATOR,ELECTRICAL TACHOMETER	1,17
1062652	BLOWER ASSY	1,27
1016754	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	1,33
1049172	INDICATOR,AIRCRAFT	1,33
1069173	CONTROL INTERFONO A-301-6WA	1,33
1132469	INDICATOR,ATTITUDE	1,33
1183231	ATTITUDE INDICATION COPILOTO	1,33
1100580	AIR SPEED	1,38
1070213	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	1,40
1049900	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-PROP PT6T-3B	1,50
1101525	CONTROL,INTERCOMMUNICATION	1,50
1549795	SERVOCYLINDER	1,56
1183205	RECEIVER-TRANSMITTE	1,57

1000163	RECEIVER-EXCITER,RADAR	2,00
1006906	LIGHT,LANDING,AIRCRAFT	2,00
1023135	NETWORK,PHASE CHANGING	2,00
1048872	NAVIGATION SET,SATELLITE SIGNALS	2,00
1048878	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO	2,00
1048882	TRANSPONDER SET	2,00
1048883	RECEIVER,RADIO	2,00
1048884	EQUIPO VOR 2	2,00
1048914	VOR NAVIGATION SYSTEM 2	2,00
1048940	INDICATOR,ATTITUDE	2,00
1048943	SPEED GOVERNOR	2,00
1048995	SCISSORS AND SLEEVE	2,00
1049095	INDICATOR	2,00
1049098	WARNING CAUTION PANEL	2,00
1049108	STABILIZER BAR ASSY	2,00
1049109	LEVER ASSEMBLY,AIRC	2,00
1049115	BLADE,ROTARY RUDDER	2,00
1049181	INDICATOR,TEMPERATURE,THERMOCOUPLE	2,00
1049197	PUMP,AXIAL PISTONS	2,00
1049260	DETECTOR,SMOKE	2,00
1049282	CONTROL UNIT,TORQUE	2,00
1049307	M/R DAMPER	2,00
1049334	TOT IND SYSTEM	2,00
1049680	VELOCIMETRO	2,00
1059783	RELAY,ELECTROMAGNET	2,00
1061956	VALVE,LINEAR,DIRECTIONAL CONTROL	2,00
1069131	INDICATOR DUAL TACHOMETER	2,00
1069153	CLOCK,PANEL	2,00
1069164	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	2,00
1069226	LIGHT,ANTI-COLLISIO	2,00
1070212	INDICATOR,LIQUID QUANTITY	2,00
1070225	COOLER,LUBRICATING OIL,ENGINE	2,00
1070660	ACTUATOR,ELECTRO-MECHANICAL,LINEAR	2,00
1070673	INDICATOR,AIRCRAFT	2,00
1072658	PUMP,AXIAL PISTONS	2,00
1074218	BORRADO FLOOR	2,00
1084138	TRANSPONDER SET	2,00
1087750	TRANSMISION ASSY,H	2,00
1087751	INDICATOR,ATTITUDE	2,00
1100093	TORQUE, INDICATOR	2,00
1121113	GENERADOR TACOMETRO	2,00
1132473	INDICATOR,ATTITUDE	2,00
1137980	CONTROL,INTERCOMMUNICATION SET	2,00
1140357	BLOWER ASSY	2,00
1165105	INDICADOR TACHOMETER	2,00
1198317	INDICATOR,BEARING-DISTANCE-HEADING	2,00
1198327	ADF CONTROL	2,00
1208005	TEMPERATURE INDICATOR	2,00
1312994	AIRCRAFT AUDIO	2,00
1315081	ATTITUDE INDICATOR	2,00
1347853	VHF COMM CONTROL KFS 598	2,00
1355018	BORRADO HOUMETER	2,00
1400769	INDICATOR,TURN AND SLIP	2,00

1453696	GOVERNOR	2,00
1453736	CONTROL,INTERCOMMUNICATION SET	2,00
1457043	MAIN ROTOR BLADE ASSY	2,00
1463411	HUB ASSEMBLY,MAIN	2,00
1463417	TAIL ROTOR YOKE	2,00
1498269	INDICATOR,PRESSURE	2,00
1521151	HANGER ASSY	2,00
1525033	INVERTER DINAMIC	2,00
1532702	FREEWHEELING	2,00
1549822	MOVING MAP PROCESOR	2,00
1049146	GEARBOX ASSEMBLY	2,40
1069132	INDICATOR,VERTICAL VELOCITY	2,50
1074892	GENERATOR,TACHOMETER	2,50
1102358	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	2,50
1048866	INDICATOR,HEIGHT	2,67
1048939	INDICATOR,HORIZONTAL SITUATION	2,67
1529588	CRADLE TELEPHONE	2,67
1049158	HANGER,DRIVESHAFT,T	2,80
1017927	METER,SPECIAL SCALE	3,00
1048868	HSI	3,00
1048912	COMM CONTROL	3,00
1537919	MGT INDICATOR	3,00
1549799	GEARBOX 42	3,00
1164850	IND OIL TEMP	3,33
1048700	CLOCK,PANEL	4,00
1048889	INDICATOR,RADIO-MAGNETIC COMPASS	4,00
1048946	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	4,00
1049082	BLOWER ASSY	4,00
1049151	DRIVE SHAFT ASSEMBL	4,00
1049194	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	4,00
1049206	RIGHT AFT CELL	4,00
1062373	PUMP,SUBMERGED,AIRCRAFT	4,00
1069029	MASTER CAUTION	4,00
1120596	ALARM SET,PILOT WARNING	4,00
1164495	INDICATOR,ELECTRICAL TACHOMETER	4,00
1164554	HANGAR ASSY,AIRCRAF	4,00
1164757	VALVE,SAFETY RELIEF	4,00
1164775	BLADE MR 206	4,00
1165024	LIGHT,NAVIGATIONAL,AIRCRAFT	4,00
1183929	STARTER-GENERATOR,ENGINE,AIRCRAFT	4,00
1483580	HANGER ASSY AIRCRAFT	4,00
1494148	ACTUATOR LINEAR	4,00
1498267	COOLER,OIL,TRANSMIS	4,00
1543243	AUDIO CONTROLLER / INTERCOM	4,00
1549819	DIGITAL VIDEO RECORDER	4,00
1657214	SERVO CYLINDER	4,00
1706215	RELAY SELENOIDE	4,00
1128696	LIGHT,LANDING,AIRCRAFT	5,00
1183918	SERVOCYLINDER	5,00
1049173	AIRSPED INDICATOR	5,33
1549813	TORQUE PRESSURE IND	5,33
1049227	GOVERNOR,TURBINE	6,00
1049267	GENERATOR,DIRECT CURRENT	6,00

1084161	NAVIGATION SET,SATELLITE SIGNALS	6,00
1084196	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	6,00
1162902	CYLINDER ASSEMBLY,HYDRAULIC BRAKE,WHEEL	6,00
1164344	PUMP AXIAL PISTONS	6,00
1309179	GEAR BOX ASSEMBLY,T	6,00
1450564	LANDING LIGHT	6,00
1049124	BLADE,ROTARY WING	6,67
1102357	SERVO CYLINDER	6,80
1068922	DAMPER ASSY,STABILI	7,43
1049119	BRACKET,EYE,NONROTATING SHAFT	8,00
1049175	ALTIMETER,PRESSURE	8,00
1070323	REGULATOR,VOLTAGE	12,00
1060966	GYROSCOPE,DISPLACEMENT	22,00

De acuerdo a los valores obtenidos se observa que el 30% de los reparables tiene un nivel de rotación menor a 1 unidad, 33% tiene un nivel de rotación en el rango de 1 a 3, el 16% presenta un nivel de rotación superior a 3 y el 20% restante de los reparables no se mantuvo existencias en stock, siendo pedidos únicamente cuando fueron requeridos.

Aunque con estos valores únicamente no se puede determinar la eficiencia en la administración de inventarios actual, se observa un nivel de rotación demasiado bajo que requiere de especial atención, teniendo en cuenta que estos elementos representan mas del 70% de valor total de los insumos que se utilizan en los trabajos de mantenimiento y que por lo general un nivel de rotación bajo se asocia con un exceso de inventario, a un mantenimiento excesivo de existencias y a la presencia de inventario muerto. Para esto se plantea la necesidad de realizar la clasificación por criticidad de estos ítems, con el fin de determinar a que reparables se debe realizar un mayor análisis para determinar el nivel de inventario requerido y en cuales se no requiere mantener stock de inventario.

#### 3.4 CLASIFICACIÓN DE CRITICIDAD DE REPARABLES EN MANTENIMIENTO IMPREVISTO

El análisis de criticidad es un método que sirve de instrumento para determinar la jerarquía de los equipos, procesos y sistemas en una organización, permitiendo dividir los elementos de acuerdo a su importancia, para determinar los métodos de control que permitan lograr una administración mas efectiva.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad estas asociados con seguridad, ambiente, frecuencia de fallas, costos de operación y mantenimiento, afectación operacional y tiempo de reparación.

Estos criterios se evalúan de acuerdo a los valores asignados teniendo en cuenta la naturaleza y variables del proceso al cual se le realiza el análisis de criticidad, lo que genera la puntuación para cada elemento evaluado. La lista

generada, permite igualar criterios para establecer prioridades y centrar el esfuerzo que garantice la optimización de los recursos.

La clasificación por criticidad permite tomar decisiones mas acertadas sobre los niveles de inventario y los elementos a tener en los almacenes y los métodos de control de los inventarios.

Para definir el nivel de criticidad de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto se evaluó el impacto que genera la no tenencia de estos elementos en el almacén cuando son requeridos para los trabajos de mantenimiento imprevisto de los helicópteros.

Para esto se utilizo una matriz en donde se evaluaron las consecuencias de no tener, la probabilidad de ocurrencia y los costos. La matriz utilizada se muestra a continuación.

Tabla 3. Matriz de Criticidad

No.	FACTORES DE CRITICIDAD	PESO	SELECCIÓN	TOTAL
<b>1</b>	<b>Efecto del fallo</b>			
1.1	Parada del helicoptero	10		
1.2	Categoria A (3 dias de vuelo o 10 dias calendario)	5		
1.3	Categoria B (30 dias calendario)	3		
1.4	Categoria C (60 dias calendario)	2		
1.5	Categoria D (90 dias calendario)	1		
1.6	No requerido	0		
Subtotal				
<b>2</b>	<b>Costos</b>			
2.1	> 60.000.000	10		
2.2	< 60.000.000 > = 20.000.000 ;	5		
2.3	< 20.000.000 > = 4.000.000 ;	3		
2.4	< 4.000.000	1		
Subtotal				
<b>3</b>	<b>Frecuencia de fallos</b>			
3.1	frecuente > 20 fallos / año	10		
3.2	probable 20 < =10 fallos / año	5		
3.3	ocasional 10 < =5 fallos / año	2		
3.4	remoto 5 < = 1 fallos / año	1		
Subtotal				
<b>TOTAL</b>				

Para el proceso de evaluación de cada reparable se realizó un trabajo en equipo con el personal de mantenimiento, para en base a los manuales y MEL (Minimun Equipment List) definir los efectos operaciones generados al no tener los repuestos y con el personal de abastecimientos para analizar los datos obtenidos del ERP de SAP en relación a la frecuencia de fallos y costos.

De acuerdo a los resultados obtenidos los siguientes fueron los elementos clasificados con criticidad muy alta y alta.

Tabla 4. Clasificación por Criticidad

MATERIAL	DESCRIPCION	CRITICIDAD
1016754	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	MUY ALTA
1048739	REDUCTION GEARBOX	
1049194	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	
1049900	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-PROP PT6T-3B	
1068922	DAMPER ASSY,STABILI	
1087750	TRANSMISION ASSY,H	
1332384	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAF	
1453677	TAIL BOOM ASSY	
1049124	BLADE,ROTARY WING	
1102309	DAMPENER,FLUTTER	
1102357	SERVO CYLINDER	
1084196	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	
1162902	CYLINDER ASSEMBLY,HYDRAULIC BRAKE,WHEEL	
1016822	HANGER ASSEMBLY,DRI	
1021604	SHAFT ASSY,TAILROTO	
1049025	MAST ASSEMBLY,PYLON	
1049056	ELEVATOR,AIRCRAFT	
1049187	CYLINDER HYD ASSY	
1049191	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	
1049285	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	
1049623	AFT RH FLOOR PANEL	
1069164	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	
1070323	REGULATOR,VOLTAGE	
1070681	SERVO	
1140357	BLOWER ASSY	
1164545	PUMP AND RESERVOIR	
1164775	BLADE MR 206	
1164869	IND. TURB OUT TEMP	
1183918	SERVOCYLINDER	
1205527	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	
1543237	PRESS AND TEMP OIL XMSN	
1309179	GEAR BOX ASSEMBLY,T	
1549795	SERVOCYLINDER	
1549813	TORQUE PRESSURE IND	

Estos resultados servirán como herramienta en el proceso de administración de los inventarios de los reparables, teniendo en cuenta que con esta clasificación se logra visualizar cuales son los ítems que tienen una mayor afectación en el proceso de mantenimiento imprevisto de los helicópteros y sobre los cuales se requiere mejores métodos de control, para lograr una gestión en el proceso de mantenimiento mas eficiente.

### 3.5 PRONOSTICO DE INVENTARIOS

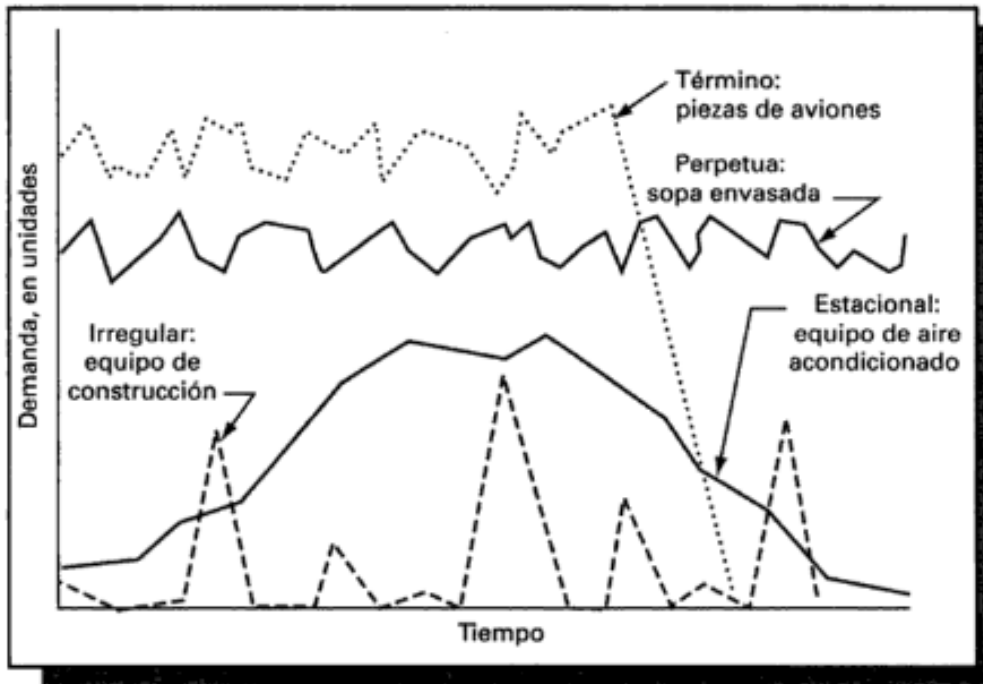
Se puede decir que actualmente en toda organización productiva, de servicio, de finanzas, de comercialización, se requiere el pronostico de variables. Por ejemplo, en una empresa productiva se requiere conocer la cantidad de materiales requeridos para obtener el producto final y en una empresa de comercialización se necesita conocer la demanda de los productos por parte de los clientes para satisfacer la demanda.

Para el caso de los inventarios, el realizar un buen pronostico permite la correcta optimización de los mismos, evitando que en la organización se generen sobrecostos por la acumulación de inventarios en los almacenes y perdidas por la falta de inventario cuando es requerido.

El análisis del comportamiento histórico de los datos es fundamental para determinar la naturaleza de la demanda y controlar los niveles de inventarios. Los patrones mas comunes de demanda se describen a continuación.

- Demanda perpetua: Se caracteriza por ser continua en un futuro indefinido.
- Demanda estacional o pico: La demanda se presenta por temporadas, algunos elementos que presentan este comportamiento son los artículos de navidad y la ropa de moda.
- Demanda irregular o errática: La demanda puede ser perpetua pero tienen periodos de poca o ninguna demanda seguidos de periodos de alta demanda.
- Los artículos irregulares: Tienen un gran variación alrededor del nivel de demanda promedio.
- Demanda a termino: Son aquellos elementos cuya demanda termina en algún momento del tiempo, por lo general tiene una duración mayor a un año, algunos elementos que presentan este tipo de demanda son las piezas de repuesto para los aviones y productos farmacéuticos.
- Demanda dependiente: la demanda de un articulo puede depender del patrón de demanda de otro articulo, como por ejemplo el papel de embalar.

Figura 3. Patrones de demanda



Fuente: Ronald H. Ballou, Logística: administración de la cadena de suministro, quinta edición., Pearson Education, 2004, PG 332

Una vez definido el analizado el comportamiento de la demanda se puede determinar el modelo probabilístico que mejor de acomoda al objeto de estudio, para esto se requiere conocer las particularidades de los modelos mas utilizados, tanto los clásicos como los modernos.

Los modelos de pronostico se pueden clasificar en dos grandes grupos: modernos (AR.I.M.A) y clásicos.

Dentro de los modelos clásicos encontramos el sistema de pronostico de promedio simple, promedio móvil, promedio móvil ponderado, suavización exponencial simple, exponencial doble, regresión lineal y modelo de variación exponencial. Cada uno de estos modelos se adecua para un patrón de demanda específico.

Por otro lado los modelos de Promedio Móvil Auto Regresivo AR.I.M.A, son mas generales y teóricos que los modelos clásicos y son capaces de tratar

cualquier patrón de datos. Son de carácter general, por lo que siempre existe un modelo para cualquier serie temporal por más especial que esta sea<sup>15</sup>.

3.5.1 Control de inventarios. Los sistemas de jalar o PULL y de empujar o PUSH, son dos enfoques de gestión de operaciones, en el primero los artículos se fabricarán o se comprarán en respuesta a la demanda, en el segundo se fabricarán o se comprarán con base en lo que se planea o anticipa.

El enfoque PUSH, permite la producción de lotes grandes, mientras que el enfoque PULL es mas útil en escenarios de una mayor incertidumbre en la demanda, permitiendo minimiza el riesgo de pérdidas por obsolescencia de las existencias en inventario.

Para el caso de los mantenimiento imprevistos de los repuestos reparables se analizaran los métodos de control utilizados generalmente para los sistemas tipo pull, el cual es el mas adecuado para los procesos de mantenimiento en donde se presenta demanda incierta y a los altos costos de este tipo de repuestos.

SISTEMA Q o por cantidad fija: Este modelo maneja una cantidad fija de pedido cuando las existencias llegan al punto de re-orden, para lo cual se requiere una continua revisión de los niveles de inventario. En este método se asume que la demanda, tiempo de despacho y costos se conocen y son constantes.

SISTEMA P O por tiempo: En este método de control, utiliza intervalos de tiempo fijos para la revisión de los inventarios, una vez revisado el inventario se lanza por la diferencia entre el nivel máximo de inventario y la cantidad de inventario existente al momento de la revisión.

SISTEMA R-M (min-max): Este método de control es utilizado especialmente cuando la demanda es irregular o errática, en este método de control se activa el requerimiento de material cuando el inventario a disminuido a un nivel mínimo definido previamente.

---

<sup>15</sup> MORA GUTIÉRREZ, Alberto. 2012a. Convención Panamericana de Ingeniería. Ponencia - Inventarios - Push & Pull. s.l., La Habana, Cuba : UPADI 2012

El nivel máximo, M, corresponde a la cantidad de punto de reorden (PRO) más la cantidad económica de pedido (Q\*), el monto de la cantidad disponible que cae por debajo del punto de reorden se añade a Q\*.

Las siguientes son las formulas utilizadas en el sistema R-M, para calcular el punto de reorden y nivel maximo de inventario en casos con demanda incierta.

- Desviacion estandar para demanda incierta

$$Sd' = Sd\sqrt{TE}$$

Sd= Desviacion estandar normal

TE= Tiempo de entrega

- Punto de reorden

$$PRO = (d \times TE) + z(Sd') + ED$$

d= tasa de demanda

Z= Se obtiene de la distribucion normal para un probabilidad dada

ED= Dedicit esperado (es la cantidad promedio a la que la cantidad disponible es probable que caiga antes de que se haga el pedido de reaprovisionamiento)

- Cantidad optima de pedido

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

D= Demanda anual de artículos, unidades/año

S= Costo de adquisición, costo/pedido

C= Valor del articulo manejado en inventario, costo/ unidad

I= Costo de manejo, como porcentaje del valor del articulo, porcentaje/año

- Nivel maximo de inventario

$$M = PRO + Q^* - ED$$

De acuerdo a la clasificacion por criticidad realizada anteriormente a los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto y con los datos obtenidos por el ERP de SAP, se realizo el calculo del nivel maximo de inventario y punto de reorden para los reparables clasificados con muy alta y alta criticidad.

Tabla 5. Puntos reorden y niveles maximos de inventario

MATERIAL	DESCRIPCION	PRONOSTICO DEMANDA	PUNTO REORDEN (PRO)	NIVEL MAXIMO INVENTARIO (M)
1016754	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	2	1	2
1048739	REDUCTION GEARBOX	1	1	2
1049194	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	0	1	1
1049900	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-PROP PT6T-3B	5	1	4
1068922	DAMPER ASSY,STABILI	28	3	10
1087750	TRANSMISION ASSY,H	1	1	1
1332384	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAF	6	2	4
1453677	TAIL BOOM ASSY	1	1	1
1049124	BLADE,ROTARY WING	15	2	7
1102309	DAMPENER,FLUTTER	12	3	6
1102357	SERVO CYLINDER	12	3	7
1084196	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	6	2	4
1162902	CYLINDER ASSEMBLY,HYDRAULIC BRAKE,WHEEL	12	2	6
1016822	HANGER ASSEMBLY,DRI	14	2	6
1021604	SHAFT ASSY,TAILROTO	14	2	6
1049025	MAST ASSEMBLY,PYLON	6	1	4
1049056	ELEVATOR,AIRCRAFT	3	1	3
1049187	CYLINDER HYD ASSY	1	1	1
1049191	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	2	1	2
1049285	FUEL CONTROL,MAIN,TURBINE ENGINE	1	1	2
1049623	AFT RH FLOOR PANEL	1	1	1
1069164	CYLINDER ASSEMBLY,ACTUATING,LINEAR	1	1	1
1070323	REGULATOR,VOLTAGE	16	2	7
1070681	SERVO	1	1	2
1140357	BLOWER ASSY	1	1	1
1164545	PUMP AND RESERVOIR	3	1	3

1164775	BLADE MR 206	1	1	2
1164869	IND. TURB OUT TEMP	4	2	4
1183918	SERVOCYLINDER	12	2	6
1205527	ENGINE,AIRCRAFT,TURBO-SHAFT	4	1	3
1543237	PRESS AND TEMP OIL XMSN	1	1	1
1309179	GEAR BOX ASSEMBLY,T	10	2	5
1549795	SERVOCYLINDER	6	2	4
1549813	TORQUE PRESSURE IND	6	2	4

Para el calculo de los pronosticos de demanda y desviacion estandar se utilizaron los distintos modelos de pronostico, de acuerdo al comportamiento de la demanda en los ultimos 6 años de cada uno de los reparables.

El calculo de estas variables permiten una mejor toma de desiciones en la administracion de los inventarios de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, permitiendo garantizar la disponibilidad de los elementos mas criticos utilizados para este tipo de mantenimientos, con lo cual se logra reducir los tiempos en que un helicoptero queda por fuera de operaci3n por falta de repuestos.

## 4. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA

### 4.1 DIAGNOSTICO

Una vez realizado el análisis de los datos del sistema de información y realizada la descripción de los procedimientos existentes para la administración de inventarios de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, se encontraron los siguientes problemas en la gestión de inventarios.

1. Falta de comunicación entre el personal de mantenimiento y abastecimientos en el proceso de proyección del presupuesto y repuestos para los mantenimientos imprevistos.
2. Solo se tienen clasificados los elementos por número de rotaciones en el año, sin tener en cuenta los efectos de falla que generan en el mantenimiento ni costos.
3. Se presenta rotura de stock de reparables críticos, lo que afecta directamente la disponibilidad de los helicópteros.
4. Acumulación de reparables poco críticos, los cuales podrían ser pedidos bajo requerimiento de mantenimiento.

### 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Teniendo en cuenta los actuales problemas que se presentan en la gestión de inventarios de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, se propone la implementación de las siguientes estrategias para lograr aumento en la productividad, integración en las áreas de mantenimiento y abastecimientos que permita la correcta clasificación y proyección de necesidades para la solución de imprevistos y aumento en la disponibilidad de los repuestos requeridos para este tipo de mantenimientos.

1. Definir responsabilidades y procedimientos claros para el manejo de los reparables requeridos en mantenimiento imprevisto.

- Funciones Escuadrón de mantenimiento.

- I. Asignara un personal con experiencia para realizar la priorización por criticidad de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, para la proyección del presupuesto e ítems que se solicitaran para el año siguiente.
- II. Realizara las solicitudes de material al personal de abastecimientos, una vez se haya verificado que los reparables requeridos no se encuentran disponibles en el almacén

III. Realizar una retroalimentación al escuadrón de abastecimientos sobre la disponibilidad de los reparables mas críticos requeridos en los mantenimientos imprevistos, con el objetivo de realizar acciones de mejora y ajustes a los parámetros establecidos para la gestión de estos repuestos.

- Funciones Escuadrón de abastecimientos

- I. El personal del almacén de reparables deberá verificar la información de históricos y costos de los reparables utilizados en los mantenimientos imprevistos, para la proyección del presupuesto del siguiente año.
- II. El personal encargado del área de pedidos junto con el personal del almacén reparables, se reunirán con el personal designado del área de mantenimiento y abastecimientos, para la proyección de los reparables y presupuesto que se solicitara para cubrir los mantenimiento imprevistos de los helicópteros.
- III. El personal de pedidos será el encargado de tramitar las solicitudes de material con el área encargada, previa verificación de las existencias del en el sistema SAP.
- IV. El personal del almacén deberá estar en comunicación constante con el personal de pedidos para asegurar el cumplimiento de los parámetros definidos para la gestión de los reparables, realizando verificación de los nivel de inventario.
- V. El personal del almacén reparables será en encargado de realizar verificación física del inventario trimestralmente para verificar el correcto uso del sistema de información y evitar posibles errores en los reportes de los inventarios.
- VI. El personal de pedidos será el encargado realizar los ajustes en los parámetros de control de los reparables, de acuerdo a la retroalimentación que realice el personal de mantenimiento y confiabilidad, para mejorar el proceso de gestión de inventario.

- Funciones Sección de confiabilidad

- I. Será la encarga de realizar el análisis de los tiempos medios de falla de los reparables mas críticos con el objetivo de detectar posibles factores que estén generando la recurrencia de imprevistos.
- II. Realizara una retroalimentación al escuadrón abastecimientos sobre los cambios en los tiempos medios de falla, para la reevaluación de los parámetros establecidos para la gestión de los reparables.

2. Incluir en los procedimientos de gestión de inventarios la clasificación por criticidad de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, como un paso adicional a los procedimientos de planeación utilizados para los requeridos en los mantenimientos programados, para este procedimiento se realizara una valoración del riesgo, nivel de rotación y costo, de acuerdo a la tabla 3. Matriz de criticidad, propuesta anteriormente.

Para la realización de este nuevo procedimiento se deberá designar un equipo de trabajo conformado por personal de mantenimiento con experiencia para la evaluación de las variables y personal de abastecimientos para el análisis de costo y numero de pedidos.

El objetivo será identificar:

- Los materiales de mayor criticidad, que generan una mayor afectación en la disponibilidad de los helicópteros, sobre los cuales se realizar un mayor esfuerzo en los métodos de control de inventario.
- Los materiales de mediana criticidad, los cuales generan menor impacto en el proceso de mantenimiento y disponibilidad.
- Los materiales de baja criticidad, sobre los cuales se podrá realizar una método de control general o bajo pedido del área de mantenimiento.

3. Definición de los métodos de control de inventarios, teniendo en cuenta el nivel de criticidad de los reparables y su nivel de rotación.

Para los reparables clasificados con una alta criticidad se definirán puntos de pedido y niveles de inventario, de acuerdo al comportamiento de la demanda y método de pronóstico, con el fin de garantizar la disponibilidad de estos ítems cuando sean requeridos para los trabajos de mantenimiento imprevisto.

4. Verificación física de los inventarios en bodega, con el fin de detectar errores en el ingreso de la información al sistema SAP. Estas revistas serán realizadas por el personal de almacenistas y se dejara registro de las mismas mediante actas, en el caso de encontrarse discrepancias se deberán plantear acciones correctivas para verificar las causas que generaron el error en el proceso de administración de los inventarios y acciones de mejora para evitar la ocurrencia de nuevos errores.

5. Establecer como política la realización de reuniones entre el personal de producción, mantenimiento, abastecimientos y confiabilidad, para realizar intercambio de información entre las áreas, verificación de responsabilidades, retroalimentación de los procesos y revisión de los parámetros establecidos para la administración de estos inventarios, con el fin de optimizar los

inventarios, teniendo en cuenta los cambios en las condiciones operativas y cambios en las estrategias de mantenimiento.

6. Definir indicadores de gestión que permitan medir la relación entre los reparables críticos solicitados y los reparables críticos disponibles en el mes, para la solución de los mantenimientos imprevistos. Con el objetivo de medir la gestión de inventarios de estos ítems.

#### 4.3 PROPUESTA DEL MODELO DE GESTION

Actualmente en el proceso de administración de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto solo interviene el área de abastecimientos, por lo cual no se tiene una correcta proyección de las necesidades para la corrección de los imprevistos presentados en los helicópteros. Razón por la cual se propone una integración con las áreas de mantenimiento y confiabilidad para poder optimizar los inventarios y reducir los tiempos de los mantenimientos imprevistos.

Figura 4. Propuesta modelo gestión de inventarios



Con el modelo propuesto se lograría aprovechar los conocimientos del personal de mantenimiento y del área de confiabilidad para lograr optimizar la gestión de los reparables, ítems de gran importancia para la solución de los mantenimientos imprevistos. El trabajo conjunto a realizar sería para la proyección de los repuestos y presupuesto para el siguiente año y en el proceso de retroalimentación o mejora del proceso de gestión de inventarios, para evitar retrasos en la solución de los imprevistos por falta de repuestos.

#### 4.3.1 APORTES DEL NUEVO MODELO

1. Reducción del tiempo de las fases de mantenimiento imprevisto. Con la implementación de la propuesta se lograrían evitar la rotura de stock de los reparables críticos, con lo cual se eliminarían las demoras en la solución de imprevistos por falta de material.

2. Trabajo en equipo. Al realizar una integración de las áreas que intervienen en el proceso de mantenimiento, se trabajaría por un objetivo en común, mejorar los procesos de mantenimiento imprevisto, reduciendo los tiempos de solución de los mismos.

3. Mejoramiento continuo. Actualmente una vez realizada la proyección de los reparables no se realiza ninguna verificación de las necesidades reales o del comportamiento de los reparables en los mantenimientos imprevistos, con la propuesta se lograría realizar una verificación de la rotación de los reparables y parámetros de consumo, logrando un proceso de mejora continua que permita optimizar la gestión de inventarios y los procesos de mantenimiento.

4. Optimización de los recursos. Al tener una información más completa sobre el comportamiento de los reparables utilizados en mantenimiento imprevisto, los cuales son de alto costo y baja rotación, se evita la adquisición de ítems no requeridos y se garantiza la disponibilidad de los más críticos.

## 5. CONCLUSIÓN

- La metodología ABC aplicada a repuestos puede en muchos casos no ser eficiente, para aquellos de poco movimiento pero de alta criticidad, lo cual genera desabastecimiento. Por lo anterior, para este tipo de ítems se requiere realizar un análisis mas detallado para su clasificación y definición de métodos de control, teniendo en cuenta no solo la rotación de los mismos sino también en el efecto de falla y costo.
- Es de gran importancia la interacción de las diferentes áreas que intervienen en el proceso de mantenimiento, ya que logra una mejor toma de decisiones para definir los repuestos mas críticos y optimizar del proceso de gestión de inventarios.
- Tener definidas y claras las políticas, procedimientos y funciones de cada una de las áreas que intervienen en el proceso de mantenimiento, es clave en el proceso de gestión de inventarios.
- Para asegurar la gestión de los reparables es necesario realizar reuniones de seguimiento, que permitan realizar una retroalimentación de los procesos e identificar oportunidades de mejora.
- Para el proceso de gestión de inventarios tener un muy buen sistema de información no es suficiente, se necesita tener en cuenta también la experiencia y conocimientos del personal que interviene directamente en el mantenimiento de los helicópteros.

## BIBLIOGRAFÍA

BALLOU, Ronald H. Logística: administración de la cadena de suministro, quinta edición, México, Pearson Education, 2004, 816p. ISBN 970-26-0540-7

BALLOU, Ronald H., Business Logistics Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain, 4ª Edición, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall ,1999, 681p.

BRICEÑO RINCON, Edison y OÑATE ZULETA, Efren. Plan de gestión de inventarios, repuestos e insumos de mantenimiento para empresas industriales. Bucaramanga, 2007, 67p. Trabajo de grado ( Especialista gerencia de mantenimiento), Universidad Industrial de Santander. Facultad ingenierías físico mecánicas. Santander.

CRUZ RODRÍGUEZ, Hermes, Estrategias de inventarios, [en línea] (2011). Consultado 22 de febrero 2017. Disponible en: <https://es.slideshare.net/jhaltuzarra/manejo-y-control-de-inventarios>

ESCUADERO SERRANO, María José . Operaciones de almacenaje [en línea] (2009). Consultado 3 de julio 2016. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199316.pdf>.

FIAEP, Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales. Control y manejo de inventario y almacén, 2014, 59p.

GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Principios de mantenimiento. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2008,108p.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. 2012a. Convención Panamericana de Ingeniería. Ponencia - Inventarios - Push & Pull. s.l., La Habana, Cuba : UPADI 2012.

ORTIZ PLATA, Daniel, Gestión de inventario de repuestos, Primera edición, 2016, 172p. ISBN 978-958-46-8902-3

Reliability centred spares. Traducido por ELLMANN, SUEIRO y ASOCIADOS, Buenos Aires, Argentina, 11p. (Copyright © 1997 Information Science Consultants Ltd)

RUBIO FERRER, José y VILLARROEL VALDEMORO, Susana, Gestión y pedido de stock. Ministerio de educación de España, 2012, 182p. ISBN 978-84-369-5435-7

SCHRADY, David. A Deterministic Inventory Model for Repairable Items. Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 14, No 3, 1967.

SILVER, Edward A., PYKE David F. y PETERSON Rein, Inventory Management and Production Planning and Scheduling, 3ª Edición, John Wiley & Sons, New York, 1998, 784p.

VIDAL, Carlos Julio. Fundamentos de Gestión de Inventarios. Tercera edición. Universidad del Valle, Facultad de ingeniera. Santiago de Cali, 2005, 258p.

ZARATE CAICEDO, Sergio Andrés, Propuesta para un modelo de gestión logístico de inventarios para la prestación de servicios de mantenimiento de redes eléctricas ESSA S.A E.S.P, Bucaramanga, 2014, 55p. Trabajo de grado (Especialización en gerencia de mercadeo y logística), Universidad Industrial de Santander. Facultad ingenierías físico mecánicas. Santander.