

ESTADO ACTUAL DEL AVANCE Y PROPUESTA DE UNA HERRAMIENTA
PARA EL CONTROL DE INVENTARIO DE REPUESTOS A TRAVÉS DE UNA
CADENA DE ABASTECIMIENTO

XAVIER RESTREPO VÁSQUEZ

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI

2012

ESTADO ACTUAL DEL AVANCE Y PROPUESTA DE UNA HERRAMIENTA
PARA EL CONTROL DE INVENTARIO DE REPUESTOS A TRAVÉS DE UNA
CADENA DE ABASTECIMIENTO

XAVIER RESTREPO VÁSQUEZ

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Industrial

TUTOR: VICTOR JAVIER ESCALLÓN SANTAMARÍA
INGENIERO ELECTRÓNICO
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI

2012

CONTENIDO

1.	ELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA	9
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
1.2	PLANTEAMIENTO DE EFECTOS DEL PROBLEMA	9
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.4	JUSTIFICACIÓN	10
1.5	ALCANCE Y LÍMITES	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GENERAL	13
2.2	OBJETIVO DEL PROYECTO	13
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.3.1	Investigar y comprender las diferentes teorías, técnicas, métodos y herramientas actuales disponibles para el control de inventarios de repuestos a través de cadenas de suministro de dos escalones y evaluar su pertinencia a la solución del problema planteado.13	Error! Marcador no definido.
2.3.2	Diseñar una herramienta para el control de inventarios de repuestos a través de una cadena de suministro de dos escalones.....	13
2.3.3	Hacer una prueba academica de la herramienta diseñada, para observar su correcto funcionamiento y verificar los resultados esperados.	13
3.	ASPECTOS METODOLÓGICOS	14
3.1	MATRIZ DE MARCO LÓGICO	14
3.2	ETAPAS DEL PROYECTO	14
3.2.1	Identificación del Problema	14
3.2.2	Crear el Marco de Referencia y Analizar el Estado Actual	14
3.2.3	Diseño y Desarrollo de la Herramienta como Propuesta de Solución al Problema de Control de Inventarios de Repuestos por Medio de una Cadena de Abastecimiento	14
3.2.4	Prueba Académica.....	15
3.3	TÉCNICAS EMPLEADAS DURANTE EL TRABAJO	15
4.	MARCO DE REFERENCIA.....	16

4.1	ANTECEDENTES.....	16
4.2	MARCO TEÓRICO	18
4.2.1	Control de Inventarios.....	18
4.2.2	Pronóstico de demanda comunes.....	18
4.2.3	Modelos de referencia para la selección del pronóstico	23
4.2.4	Inventarios de Repuestos	266
4.2.5	Características de Repuestos	28
4.2.6	Políticas de control de inventario de repuestos.....	31
4.2.7	Inventario de una cadena de abastecimiento de dos escalones.....	33
4.2.8	Estructura de un Sistema Multi- escalon.....	33
4.3	DESARROLLO Y ESTADO ACTUAL	25
4.3.1	Pronóstico de demanda de repuesto	35
4.3.2	Clasificación de inventarios de repuesto.....	42
4.3.3	Puntos de referencia.....	46
4.3.4	Modelo de política con demanda aleatoria y lead time aleatorio.....	47
4.3.5	Políticas de inventario (Pedido del repuesto).....	49
4.3.6	Modelo planteado para el control de inventario de repuesto en una cadena de abastecimiento de 2 escalones	52
4.3.7	Modelo para el manejo de faltantes, obsoletos y tiempo de respuesta para el control del inventario de repuesto	53
4.3.8	Políticas de inventario (Pedido del repuesto).....	62
5.	ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	70
5.1	RECURSOS DISPONIBLES.....	70
5.2	CRONOGRAMA	71
5.3	EQUIPO DE INVESTIGADORES	72
6.	PROPUESTA DE HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE INVENTARIO DE REPUESTO EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE DOS ESCALONES	73
6.1	Estructura de la herramienta.....	73
6.2	Manual de uso	80
6.3	Análisis académico de la herramienta	96

7.	Aporte intelectual	134
8.	CONCLUSIONES.	136
9.	RECOMENDACIONES	138
10.	BIBLIOGRAFÍA	139
11.	ANEXOS	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de inventario en dos locaciones.....	33
Figura 2. Distribución de un sistema de inventario de 2 eslabones.	34
Figura 3. Traspasó lateral entre minoristas.....	35
Figura 4. Periodo de tiempo, demanda intermitente y lumpy.	43
Figura 5. Categorización de los repuestos.	44
Figura 6. Categorización de la demanda de los repuestos.	45
Figura 7. Ordenes y ciclo de remplazo de los repuestos.	49
Figura 8. Modelo de Cadena de Abastecimiento de 2 escalones.	52
Figura 9. Factores que influyen en modelo de Cadena de Abastecimiento de 2 escalones.....	53
Figura 10. Lead time entre Bodega Central y depósito.....	59
Figura 11. Análisis VED vs ABC.	69
Figura 12. . Categorización de los repuestos modificada.	75
Figura 13. . Hipervínculo de la plantilla de inicio y la plantilla de demanda histórica de repuesto.....	81
Figura 14. Hipervínculo parámetros de criticidad.....	81
Figura 15. Plantilla de inicio herramienta control de inventario de repuesto.	83
Figura 16. Plantilla de demanda de repuesto.	84
Figura 17. Plantilla de comportamiento de demanda del repuesto.	85
Figura 18. Plantilla de comportamiento de demanda del repuesto.	86
Figura 19. Grafica de pronóstico de la demanda del repuesto.	86
Figura 20. Hipervínculos de plantillas de pronósticos.	87
Figura 21. Plantilla de comparación de pronósticos.....	88
Figura 22. Plantillas clasificación ABC y criticidad.	89
Figura 23. Plantilla clasificación VED.....	92

Figura 24. Plantilla clasificación VED vs ABC.....	93
Figura 25. Plantilla control de obsoletos.	94
Figura 26. Plantilla parámetros de política.	95
Figura 27. Datos históricos muestra 1.	96
Figura 28. Análisis demanda muestra 1.....	97
Figura 29. Pronostico Croston Muestra 1.	98
Figura 30. Pronostico Syntetos y Boylan Muestra 1.	99
Figura 31.Pronostico Adaptativo Muestra 1.	100
Figura 32.Pronostico Bootstraping Muestra 1.....	101
Figura 33. . Elección pronostico Muestra 1.....	102
Figura 34. Clasificación VED Muestra 1.	103
Figura 35. Datos históricos muestra 2.	104
Figura 36. Análisis demanda muestra 2.....	105
Figura 37. Pronostico Croston Muestra 2.	106
Figura 38. Pronostico syntetos y boylan Muestra 2.	107
Figura 39. Pronostico adaptativo Muestra 2.	107
Figura 40. Pronostico bootstraping Muestra 2.	108
Figura 41. Elección pronostico Muestra 2.....	109
Figura 42. Clasificación VED Muestra 2.	110
Figura 43. Datos históricos muestra 3.	111
Figura 44.Análisis demanda muestra 3.....	112
Figura 45. Pronostico Croston Muestra 3.	113
Figura 46. Pronostico syntetos y boylan Muestra 3.	114
Figura 47. Pronostico adaptativo Muestra 3.	115
Figura 48. Pronostico bootstraping Muestra 3.	116
Figura 49. Elección pronostico Muestra 3.....	117
Figura 50. Clasificación VED Muestra 1.	117
Figura 51. Datos históricos muestra 4.	119
Figura 52. Análisis demanda muestra 4.....	120
Figura 53. Pronostico Croston Muestra 4.	121

Figura 54. Pronostico syntetos y boylan Muestra 3.	121
Figura 55. Pronostico adaptativo Muestra 3.	122
Figura 56. Pronostico bootstraping Muestra 4.	123
Figura 57. Elección pronostico Muestra 4.	124
Figura 58. Clasificación VED Muestra 4.	125
Figura 59. Datos históricos muestra 5.	126
Figura 60. Análisis demanda muestra 5.	128
Figura 61. Pronostico SES Muestra 5.	129
Figura 62. Pronostico adaptativo 1 Muestra 5.	130
Figura 63. Elección pronostico Muestra 5.	131
Figura 64. Clasificación VED Muestra 5.	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de selección para el sistema de inventario de control.....	32
Tabla 2. Tiempo estimado según las condiciones de cada recurso.....	63
Tabla 3. Cuantificación de efectos.....	64
Tabla 4. Valor de frecuencia estimado de la falla.....	65
Tabla 5. Estimación de Frecuencia de Fallas para equipos NUEVOS.....	66
Tabla 6. Estimación de Frecuencia de Fallas para equipos USADOS.....	67
Tabla 7. Bandas de criticidad.....	67
Tabla 8. Nivel de servicio para la clasificación VED vs ABC.....	69
Tabla 9. Valor de acuerdo a la tabla de cuantificación del efecto.....	90
Tabla 10. Tabla para seleccionar tipo de repuesto con base a la clasificación VED.	91
Tabla 11. Tabla del nivel de carga del equipo.....	91
Tabla 12. Parámetros de control pronostico croston muestra 1.....	98
Tabla 13. Parámetros de control pronostico syntetos y boylan muestra 1.....	99
Tabla 14. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 1.....	100
Tabla 15 Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 1.....	101
Tabla 16.Parámetros de control pronostico croston muestra 2.....	106
Tabla 17. Parámetros de control pronostico syntetos y boylan muestra 2.....	107
Tabla 18. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 2.....	108
Tabla 19. Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 2.....	108
Tabla 20. Parámetros de control pronostico croston muestra 3.....	113
Tabla 21. Parámetros de control pronostico syntetos y boylan muestra 3.....	114
Tabla 22. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 3.....	115
Tabla 23. Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 3.....	116

Tabla 24. Parámetros de control pronostico croston muestra 4.....	121
Tabla 25. Parámetros de control pronostico syntetos y boylan muestra 4.....	122
Tabla 26. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 4.....	123
Tabla 27. Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 4.....	123
Tabla 28. Parámetros de control pronostico SES muestra 5.....	129
Tabla 29. Parámetros de control pronostico adaptativo 1 muestra 5.....	130

1. ELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad muchos gerentes de planta, supervisores y operarios argumentan que se debe tener un alto nivel de inventario de repuestos para suministrarlos cuando ocurra un daño en los equipos de operación o cuando se deba hacer mantenimiento a dichos equipos, pues siempre deben haber partes disponibles para evitar una parada del sistema de producción que afecte el nivel de servicio que ofrecen las organizaciones a sus clientes. Practica que no es la mejor para el control de inventarios porque genera una alta inversión en repuestos, partes e insumos que quizás no se utilicen nunca y sufran de obsolescencia, en cuyo caso se perderá la inversión realizada y tal vez se deba incurrir en un costo logístico para deshacerse del inventario obsoleto. Uno de los principales problemas del control de inventario de repuestos es hacer el pronóstico de demanda pues es difícil determinar cuándo ocurrirá una falla en los equipos la cual requiera el cambio de una parte. Algunos productos de repuesto tienen demandas determinísticas, situación dada por el mantenimiento programado que se hace según las especificaciones de las maquinas. Pero muchos otros productos para repuesto tienen demandas estocásticas y es difícil saber cuál método utilizar, para determinar el pronóstico que arroje menos error, para cada tipo de comportamiento de la demanda.

Otro problema del control de inventarios de repuesto es la tendencia a tener un nivel alto de este tipo de inventario y más en las empresas grandes con más de una planta de producción, pues se maneja de manera individual el inventario en cada punto, lo que hace que la organizaciones como un todo, teniendo en cuenta todas sus plantas de producción, incurra en sobrecostos e inversión alta por tener muchos repuestos en inventario. Por lo tanto es necesario diseñar una cadena de abastecimiento de repuestos que controle el inventario de todas las plantas desde un mismo punto, teniendo en cuenta el nivel de inventario en cada planta con el fin de reducir el nivel del inventario total sin afectar el nivel de servicio en cada punto de venta, permitiendo tener menos porcentaje de obsoletos y reduciendo los costos e inversión de toda la organización.

1.2 PLANTEAMIENTO DE EFECTOS DEL PROBLEMA

- Altos niveles de inventarios que inciden en alta inversión y sobrecostos para mantener dichos niveles de inventarios.
- Obsolescencia de repuestos en las diferentes plantas, lo que lleva a desperdicio de la inversión en inventario y costo extra de logística para deshacerse del inventario obsoleto.
- Paradas del sistema productivo por falta de repuestos, lo que conlleva a una disminución en el nivel de servicio y posiblemente a pérdida de clientes.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En su gran mayoría las empresas realizan la planificación de repuestos de forma manual, utilizando políticas de inventario tradicionales, en el mejor de los casos. No aplican técnicas y herramientas que les permitan realizar un mejor control del inventario de repuestos. Esto se evidencia aún más cuando las empresas tienen varias plantas que utilizan repuestos comunes, como en el caso particular de una cadena de dos escalones, surge entonces la decisión de dónde almacenarlos, cuántos tener, en qué momento comprar y despachar. Por lo anterior, es necesario proveer el conocimiento para planear el inventario de repuestos y diseñar una herramienta que facilite las decisiones relacionadas con dicho inventario, con base en técnicas y métodos actuales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo y utilización de herramientas prácticas para la control de operaciones es cada vez más común en las empresas, el actual mundo global exige grandes niveles de competitividad, innovación y desarrollo tecnológico e investigativo. El papel de los ingenieros industriales en el desarrollo de procesos de mejora continua, que permitan a las empresas locales ser más competitivas, es vital pues son las personas que participan e influyen en la toma de decisiones dentro de los procesos de mejora, lo que determina una excelente operación de las cadenas de suministro. Este proyecto no solo contribuye a los procesos de mejora continua de

la industria local, sino que también aumenta el conocimiento en un tema que es de gusto para el autor y contribuye a su formación profesional en el área de logística y producción, las cuales son de sus intereses. Por eso es pertinente y productivo para la ingeniería industrial por ser un aporte a la industria, desde las capacidades de los profesionales de este programa. Es pertinente para la formación profesional de el autor como ya se menciona y pertinente para las empresas que decidan usar la herramienta para mejorar en sus procesos de gestión de inventarios y tener una ventaja competitiva por el uso de la misma, lo que lleva al crecimiento económico por la generación de grandes ahorros por buen control de inventarios de repuestos.

1.5 ALCANCE Y LÍMITES

El proyecto de control de abastecimiento de inventarios de repuesto en la región del Valle del Cauca es un proyecto de tipo investigativo, debido a que se indagará sobre la situación actual que presentan las empresas de Cali y las ciudades aledañas a ella, acerca del abastecimiento de inventarios de repuestos, si poseen un sistema de control dentro de su estructura organizacional o no lo poseen, y como lo maneja cada planta de las cadenas de abastecimiento de dos escalones de las empresas indagadas.

Es una investigación de tipo descriptiva sobre el abastecimiento de inventarios de repuesto debido a que va estar enfocada en realizar una herramienta de tipo exploratorio que nos permita controlar, por medio de métodos ya establecidos, el inventario de repuestos a través de una cadena de abastecimiento de dos escalones dentro de las empresas. Existen estudios de investigación sobre inventario de repuestos que permitirán comenzar con unas bases para poder resolver las dificultades que se puedan presentar a la hora de diseñar la herramienta. La herramienta poseerá un manual de utilización, para que la modelación incluya a todos los sectores industriales que manejen inventarios de repuestos.

Este proyecto tendrá impacto en los siguientes aspectos: Académico, profesional, económico y social.

Académico: Servirá como referencia para estudios previos acerca del tema, será fuente de información para Universidades para que el estudiante la tomen como base de nuevos estudios con redes más complejas. Será una fuente de datos para

toda la comunidad de la Universidad Icesi que podrá ser usada según sus necesidades por parte de los interesados.

Profesional: Desde el punto de vista del Ingeniero Industrial, se plantean soluciones a problemas que afecten a todo tipo de procesos que posean una secuenciación, por eso es importante para la ingeniería industrial establecer un modelo que permita un acierto predecible en el abastecimiento, utilización y almacenaje de los inventarios de repuestos, ya que genera un buen impacto económico partiendo desde lo académico.

Económico: Cuando el proyecto se ejecute eficazmente se podrán disminuir las pérdidas en los inventarios de repuestos cuando las partes ya no sirvan, debido a que el abastecimiento se realizara previniendo tanto faltantes, que afectan el nivel de servicio, como partes sobrantes que nunca se utilicen y teniendo en cuenta toda la cadena de suministro de dos escalones (Bodega Central, N Bodegas de Planta), que es el foco principal de este proyecto, y así poder lograr un alto nivel de competitividad en las empresas y sectores que decidan usar la herramienta.

Social: Mejoramiento en la productividad de las empresas como en la utilización de sus recursos, con esto se disminuirá residuos de partes para el medio ambiente. Además el alto nivel de competitividad conlleva al desarrollo económico y crecimiento de las empresas, lo que permite generar más empleo para la comunidad Vallecaucana.

La elaboración de la herramienta junto al estudio de la gestión de inventarios de repuestos se elaborara en proyecto de grado 1 y 2 (periodo 2-2011 a periodo 1-2012, la prueba académica para evaluar el funcionamiento de la herramienta se elaborara en proyecto de grado 2 (periodo 1-2012).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Aportar al mejoramiento del control de inventarios de repuestos para el mantenimiento.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Desarrollar una herramienta que permita controlar el inventario de repuestos para el mantenimiento a través de una cadena de suministro de dos escalones, basándose en la investigación y el estado actual de los ejes temáticos.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.3.1 Determinar el estado actual de las teorías, técnicas y disponibles para el control de inventario de repuestos a través de una Supply Chain (SC) de dos escalones.

2.3.2 Diseñar una herramienta para el control de inventario de repuestos a través de una SC de dos escalones, tal que planifique la demanda, aprovisionamiento de repuestos, almacenaje, reposición y redistribución de los repuestos a través de la SC.

2.3.3 Realizar una prueba académica de la herramienta, para validar su correcto funcionamiento.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Dadas las características del problema y el objetivo del proyecto, en general el proyecto se abordara metodológicamente, investigando y estudiando la teoría más actual y relevante relacionada con los temas del problema, para luego aplicar dicho conocimiento en el diseño y desarrollo de la herramienta. En otras palabras consiste en observar, interpretar, comprender y traducir el lenguaje teórico y de modelos matemáticos, al lenguaje de un software en específico.

3.1 ETAPAS DEL PROYECTO

A continuación se presentan las etapas que sustentan la metodología general y la matriz de marco lógico

3.1.1 Identificación del Problema

A partir del tema y la situación planteada por el tutor temático del proyecto se empezó a estudiar la teoría y la opinión de algunos profesores del departamento de ingeniería industrial de la universidad Icesi, para así identificar las causas, efectos y consecuencias del problema de ingeniería que trasciende en el control de inventarios de repuesto y por ende poder identificarlo, definirlo y plantearlo bien.

3.1.2 Crear el Marco de Referencia y Analizar el Estado Actual

Luego de estudiar la teoría, se buscaron también diferentes estudios relacionados con el tema, que sirvan como antecedentes y que permitan tener una mejor comprensión de los pilares en los que se fundamenta el tema específico del proyecto, esto con el fin de crear un marco de referencia completo que permita al lector comprender las bases de la herramienta desarrollada e identificar el estado actual del tema. Finalmente se hace el aporte personal de los investigadores y habiendo comprendido, analizado y estudiado la información recolectada se determina el estado actual del control de inventarios de repuestos.

3.1.3 Diseño y Desarrollo de la Herramienta como Propuesta de Solución al Problema de Control de Inventarios de Repuestos por Medio de una Cadena de Abastecimiento

Después de tener la información y conocimiento teórico se procede a diseñar la herramienta creando un modelo integrando otros en uno solo, que permia un buen control de inventarios. Después de eso se interpreta la teoría y se traduce al lenguaje o funcionamiento del software seleccionado.

3.1.4 Prueba Académica

Finalmente después de elaborar la posible propuesta de la herramienta, con unos datos de demanda de repuestos planteados, se ejercerá una prueba para analizar el correcto y coherente funcionamiento de la herramienta.

3.3 TÉCNICAS EMPLEADAS DURANTE EL TRABAJO

Tabla 1 Utilización de metodologías en el proyecto

Estado actual y propuesta de una herramienta de control de inventarios de repuestos a través de una cadena de suministro			
N°	Etapas del Proyecto	Actividades Críticas	Metodologías Específicas
1	Identificación del problema	Estudio del tema y consulta de expertos	Consultar las diferentes fuentes, comprender la información, analizarla y plantear las causas y consecuencias del problema de ingeniería
2	Crear el marco de referencia y analizar el estado actual	Antecedentes y determinación del estado actual	Comprender y determinar cuáles de los estudios anteriores son de más relevancia para este proyecto y así identificar cual es el estado actual
3	Diseño y desarrollo de la herramienta como propuesta de solución al problema de control de inventarios de repuestosO por medio de una cadena de abastecimiento	Diseño de las plantillas de pronósticos y políticas de inventario.	Integración de conceptos y de modelos matemáticos para el control, luego se interpreta y traduce a lenguaje de una hoja de cálculo.
4	Prueba Académica	Aprobación de la prueba académica elaborada por el investigador.	Después de probar la herramienta en estados ideales y bajo supuestos se debe comprobar los resultados y el funcionamiento bajo estados reales

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

Dentro de los estudios realizados respecto al tema de esta investigación se presentan tres pilares o ejes temáticos, los cuales son la base para comprender, analizar y diseñar la herramienta que es objeto de este estudio. Dichos ejes temáticos son el Control de Inventarios, Inventarios en cadenas de suministro e inventarios de repuesto.

A continuación se mencionan las tesis y artículos que se consideraron importantes para el desarrollo de este proyecto.

4.1.1 Spare Parts Inventory Management with Delivery Lead Times and Rationing

Elaborada por Yasar Levent Kocaga como tesis de grado para su maestría en ingeniería industrial en Bilkent University en mayo del 2004. Propone un modelo de simulación y optimización para el control del inventario de repuesto con tiempos de entrega y racionamiento. Esta tesis sirve como referencia para el estudio de modelos de inventarios de repuesto, teniendo en cuenta todos los factores que influyen en el control de inventarios, como lo son la variabilidad de la demanda y del lead time.

4.1.2 Forecasting Methods for Spare Parts Demand

Tesis elaborada por Andrea Callegaro en la Universidad de Padova en 2010. Se estudia y propone un método para determinar el tipo de comportamiento de la demanda de repuestos dentro de las organizaciones. También presenta la selección de los métodos de pronóstico de acuerdo al comportamiento de demanda, lo cual es muy importante para este proyecto, pues una de las funciones que debe cumplir la herramienta propuesta es decidir que pronóstico será el que se debe realizar para cualquier producto que requiera el usuario en específico. Además explica y muestra los métodos de pronósticos con sus respectivos modelos matemáticos, y los compara finalmente de acuerdo al cálculo de indicadores de error.

4.1.3 Aplicación de Modelos de Inventarios en una Cadena de Abastecimiento de Productos de Consumo Masivo con una Bodega y N Puntos de Venta

Artículo realizado por el profesor Ph.D. Carlos Julio Vidal Holguín de la facultad de ingeniería de la Universidad del Valle, el estudiante de la maestría en ingeniería industrial de la universidad del valle Julio Cesar Londoño Ortega y Fernando Contreras Rengifo de la Caja de Compensación Familiar del Valle del Cauca – COMFANDI. Se propone un modelo para el control de inventarios en cadenas de suministro, lo cual también es de vital importancia para uno de los ejes temáticos de este proyecto, pues se requiere modelar una cadena de abastecimiento con una bodega central y N puntos de venta, que permita controlar el inventario de

repuesto. Entonces el artículo sirve como referencia teórica para el desarrollo de este proyecto, además de que los autores son locales y se asume que comprenden el contexto de la operación de las empresas locales, lo que es importante ya que el modelo desarrollado en el artículo tiene en cuenta el ámbito empresarial nacional y lo que se quiere lograr con este proyecto es poder aplicar en un futuro la herramienta propuesta a una o varias empresas de la región Vallecaucana y de Colombia.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Control de Inventarios

Para la mayoría de las empresas, uno de los principales problemas es el control del inventario de los diferentes tipos que se requieren para la operación normal. Las organizaciones deben garantizar el flujo de materiales en la cantidad y tiempo correctos a través de la cadena de suministro, es decir desde los proveedores hasta el consumidor final. Para lograr la cantidad correcta en el tiempo correcto se debe tener en cuenta los diferentes tipos de demanda de productos, la variabilidad de las demandas si las tienen, los tiempos de entrega y sus respectivas variabilidades, la inversión que se va a hacer y en general muchos otros factores que influyen en la operación del sistema para que sea eficiente, eficaz y productivo. En muchos casos las empresas sufren grandes pérdidas de dinero por tener una gran cantidad de producto que no está siendo comprado por los consumidores o utilizado por la misma empresa y por no tener de los productos que si desean comprar los consumidores o si necesita utilizar la empresa. Por esa razón es necesario diseñar sistemas de control de inventarios que permitan tener en cuenta todos los factores, en cuyo caso se podría brindar el nivel de servicio que los consumidores desean, y así lograr un balance del nivel de los inventarios más preciso.

Dentro de los sistemas de control de inventarios se debe caracterizar tres grandes procesos para llegar a la definición de la cantidad y el tiempo en que se debe abastecer el inventario:

- Pronostico de demanda
- Definición de la política de revisión
- Calculo del punto de reabastecimiento y el nivel del inventario de seguridad

4.2.2 Pronóstico de demanda Comunes

El pronóstico de demanda es la predicción de cuanta cantidad se va a consumir en cada periodo k futuro en un horizonte de planeación K y se hace a partir de una serie T de datos históricos. Para hacerlo existen diferentes métodos los cuales son utilizados de acuerdo al comportamiento que tengan los datos históricos, y a la precisión de pronóstico que se desee tener. Es necesario para hacer un buen pronóstico que se tenga una cantidad considerable de datos históricos sobre el consumo de los productos, pero se debe tener cuidado al identificar el comportamiento de la demanda y saber en qué etapa del ciclo de vida se encuentra cada producto. El comportamiento de demanda cambia en cada etapa y pronosticar con datos de etapas diferentes podría generar un pronóstico errado. También se debe revisar los datos atípicos generados por factores externos, como

el clima, desastres, eventos especiales, etc. Existen diferentes formas de corregir los datos atípicos y una de esas opciones es eliminar el dato pero solo si es por causas asignables, lo que quiere decir que se pueden controlar. Eliminar un dato cuando las causas no son asignables no es recomendable.

La demanda puede tener diferentes tipos de comportamiento, los datos históricos de dicha demanda pueden presentar un proceso constante, un proceso con tendencia, un proceso estacional con o sin tendencia, un proceso irregular o errático, o un proceso intermitente. Para cada tipo de comportamiento existen diferentes métodos de pronóstico. Para efectos de esta investigación solo se tendrán en cuenta los siguientes métodos de pronóstico, pero existen muchos métodos y formas de pronosticar aparte de los que se mencionan aquí.

- Promedio móvil simple

Este método consiste en calcular el promedio del último subconjunto de N datos de una serie de datos históricos más grande. El objetivo de este método es darle importancia a los datos más recientes, sin embargo entre mayor sea el valor de N, el pronóstico tendrá en cuenta datos antiguos en igual proporción. Este método sirve para pronosticar demandas de proceso constante. Se puede calcular el promedio desde los datos más antiguos con el fin de simular el pronóstico de datos más recientes, compararlo con la serie real y calcular, analizar y tratar de disminuir el error cambiando los valores de n. se sigue el siguiente proceso matemático

$$S_t = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} X_{t-n}}{N} \quad (1.1)$$

$$F_t = S_{t-1} \quad (1.2)$$

$$F_{T+k} = S_T \text{ para } k = 1 \dots K \quad (1.3)$$

- Suavización exponencial simple

Esta técnica se basa en la atenuación de los valores de la serie de datos, obteniendo el promedio ponderado de estos; es decir, los datos se ponderan dando un mayor peso a las observaciones más recientes y uno menor a las más antiguas si el valor de alpha es cercano a 1 y lo contrario si el valor de alpha es cercano a 0. Al peso para ponderar las observaciones α (alpha) se le da un valor entre 0 y 1 y debe ser determinado por el planeador teniendo en cuenta el anterior criterio. La estimación o pronóstico será el valor obtenido del cálculo de la ponderación del periodo inmediatamente anterior. Este método también sirve para pronosticar demandas de proceso constante. La expresión para realizar el cálculo es la siguiente.

- Método Winters

Se aplica cuando en la serie de datos se presentan los patrones de tendencia y estacionalidad o solo estacionalidad. Suaviza los datos por el método exponencial de Holt – Winters ya sea en forma aditiva o multiplicativa.

El efecto multiplicativo se presenta cuando el patrón estacional en los datos depende del tamaño de los datos o sea cuando la magnitud del patrón estacional se incrementa conforme los valores aumentan y decrece cuando los valores de los datos disminuyen. El efecto aditivo es mejor cuando el patrón estacional en los datos no depende del valor de los datos, o sea que el patrón estacional no cambia conforme la serie se incrementa o disminuye de valor. El método de Winters calcula los estimados de tres componentes, nivel, tendencia y estacionalidad. Calcula estimadores dinámicos con ecuaciones para los tres componentes y el pronóstico se calcula a partir de los tres estimadores.

- Winters multiplicativo

Se presenta el modelo multiplicativo de Winters, formalmente el modelo es:

$$d_t = (a + bt) c_t + \varepsilon_t$$

Donde

a = porción constantes

b = pendiente de la componente de tendencia

c_t = factor estacional para el periodo t

ε_t = aleatoriedad no controlable

El método de pronósticos consiste en estimar los parámetros del modelo y usarlos para generar el pronóstico. La componente constante se estima en forma independiente de la tendencia y los factores estacionales, por lo que se llama constante no estacional. De la misma manera, el factor de tendencia debe ser independiente de los factores estacionales.

Los factores estacionales se pueden ver como un porcentaje de las componentes constante y tendencia para el periodo t; si la demanda en un periodo dado de una estación es menor que la componente de tendencia/constante, el factor estacional será menor que uno, y si la demanda es mayor, será mayor que uno. El número de factores estacionales debe ser igual al número de estaciones al año. Para pronosticar, se debe obtener los estimadores iniciales primero

Sea

d_t = demanda en el periodo t

L = número de estaciones en el año (o en otro marco de tiempo)

T = Número de periodos de datos disponibles.

S_t = Estimación para el término constante a calculado en el periodo t

B_t = Estimación del término tendencia b calculado en el tiempo t.

C_t = Estimación del componente estacional para el periodo t.

\bar{D} = Demanda promedio global

α = La constante para el término constante,

β = La constante para la tendencia

γ = La constante para los factores estacionales

(Estas constantes son definidas por el pronosticador)

Primero se debe determinar el estimador inicial de tendencia, para el cual se debe tener como mínimo dos ciclos estacionales para inicialización de estimadores. Se calcula el promedio de cada ciclo y se procede como sigue:

$$B_t = \frac{\bar{D}_{ciclo2} - \bar{D}_{ciclo1}}{\# \text{ datos del crecimiento}} \quad (1.4)$$

Luego se procede a calcular el estimador inicial del componente constante, que depende del promedio de todos los datos de inicialización al cual se le debe corregir por tendencia con el estimador anterior:

$$S_t = \bar{D} + \left(\frac{T-1}{2}\right) B_t \quad (1.5)$$

Después de tener los estimadores iniciales de tendencia y constante se procede a calcular los estimadores iniciales de tendencia, los cuales son uno por cada estación que se tenga en un ciclo estacional:

$$C_t = \frac{d_t}{S_T - B_T(T-t)} \quad (1.6)$$

Estos factores estacionales, sin embargo, no necesariamente suman L. Para normalizarlos primero se determina R, el cociente de la duración de la estación entre la suma de los factores estacionales:

$$R = \frac{L}{\sum_{t=T-L+1}^T C_t} \quad (1.7)$$

Esta razón se multiplica por los factores estacionales promediados, por cada estación, en cada ciclo para obtener nuevos:

$$\hat{C}_t = R * \text{Promedio } C_t \text{ cada estacion en cada ciclo} \quad (1.8)$$

El número de nuevos factores siempre es el mismo que los periodos en la estación. Las constantes para el término constante, la tendencia y los factores estacionales se denotan por α , β , y γ , respectivamente.

Dados S_{T-1} , B_{T-1} y C_{T-L+1} , C_{T-L+2}, \dots , C_{T-1} , cuando se conoce d_T se pueden determinar

S_T , B_T y C_T .

La estimación del término constante S_T será

$$S_T = \alpha \left(\frac{d_T}{C_{T-L}} \right) + (1 - \alpha)(S_{T-1} + B_{T-1}) \quad (1.9)$$

Para actualizar la estimación de la componente de tendencia, se usa la ecuación.

$$B_T = \beta(S_T - S_{T-1}) + (1 - \beta)B_{T-1} \quad (1.10)$$

Por último, los factores estacionales actualizados se estimarán con

$$C_T = \gamma \left(\frac{d_T}{S_T} \right) + (1 - \gamma)C_{T-L} \quad (1.11)$$

El pronóstico para dentro de k periodos ($k \leq L$) está dado por

$$F_{T+k} = (S_T + kB_T)C_{T+k-L} \quad (1.12)$$

- Winters aditivo

En general este método tiene las características del modelo multiplicativo, pero cambia el modelo formal y por ende también lo hacen el estimador inicial de C_t , el estimador constante S_T , el estimador estacional C_T y el pronóstico F_{T+k} .

Modelo formal: $d_t = (a + bt) + c_t + \varepsilon_t$

La principal diferencia, sin embargo, es que los factores estacionales no se pueden ver como un porcentaje de las componentes constante y tendencia, sino que son valores ubicados alrededor de dichas componentes.

En general el proceso es el mismo, pero para normalizar los estimadores C_t simplemente se promedian por cada estación en cada ciclo.
 $\hat{C}_t = \text{Promedio } C_t \text{ cada estación en cada ciclo}$

$$C_t = d_t - (S_T - B_T(T - t)) \quad (1.13)$$

$$S_T = \alpha(d_T - C_{T-L}) + (1 - \alpha)(S_{T-1} + B_{T-1}) \quad (1.14)$$

$$C_T = \gamma(d_T - S_T) + (1 - \gamma)C_{T-L} \quad (1.15)$$

$$F_{T+k} = (S_T + kB_T) + C_{T+k-L} \quad (1.16)$$

Se debe resaltar que para tanto el método multiplicativo, como el método aditivo de Winters se debe contar con al menos 4 ciclos estacionales en la serie de datos, 2 para inicializar y 2 para simular, para que la constante estacional γ pueda influir sobre la estimación del pronóstico.¹

4.2.3 Modelos de Referencia para Selección de Pronóstico

Los modelos de referencia son parámetros los cuales sirven como referencia para evaluar métodos de pronósticos con la demanda que poseemos para saber cual método se ajusta mejor a la distribución de los datos que se tiene. Se va a tener en cuenta el modelo básico de comparación MAPE, y otros 2 métodos que se utilizan frecuentemente para comparar demandas de repuestos.

-MAPE

Mean absolute percentage error (Media absoluta del porcentaje de error) es presentado como un porcentaje y la formula es la siguiente:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^N |A_t - F_t/A_t| \quad (2.1)$$

Donde A_t es el valor actual y el F_t es el valor del pronóstico.

¹ Tomado de Sipper Daniel / Bulfin Robert L., Planeación y control de la producción, 4ª edición, 1ª impresión, México D.F., Mc. Graw Hill, Junio 1999, pp. 134 -140.

Como vemos en la ecuación anterior se presenta la diferencia entre A_t y F_t dividido por A_t , el valor de este calculo se suman todos los pronósticos de cada serie de tiempo y se dividen por el n que es el numero de series de tiempo que se ha pronosticado. Esto hace que sea un porcentaje de error, así que uno puede comparar el error de cada serie de tiempo en los diferentes niveles.

El criterio MAPE tiene 2 problemas fundamentales:

- Si hay valores que son ceros en algunas demandas de repuestos (En el cual pasa cuando se manejan series de tiempo de repuestos) seria una división sobre cero.
- Cuando tenemos un ajuste perfecto, MAPE es cero. Se puede llegar a presentar en muchos casos que el MAPE arrojado por la serie de tiempos evaluada nos de muy alto, esto puede afectar el promedio del MAPE y no permitirá tener un valor exacto de la estimación. Para esto se realizo una mejora llamada S-MAPE que se enfoca en corregir esta desventaja del método.²

-S-MAPE

Promedio absoluto simétrico del porcentaje de error (S-MAPE), es una medida de precisión de la base en porcentaje (o relativa) errores. Por lo general se define como sigue:

$$S-MAPE = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N |(A_t - F_t)| / ((A_t + F_t)/2) \quad (2.2)$$

Donde A_t es el valor actual y el F_t es el valor del pronóstico.

Como vemos en la ecuación anterior se presenta la diferencia entre A_t y F_t dividido por la suma A_t y F_t , el valor de este calculo se suman todos los pronósticos de cada serie de tiempo y se dividen por el n que es el numero de series de tiempo que se ha pronosticado. Esto hace que sea un porcentaje de error, así que uno puede comparar el error de cada serie de tiempo en los diferentes niveles.

Al contrario del MAPE en S-MAPE tiene un límite inferior y un límite superior la fórmula anterior proporciona un resultado entre 0% y 200%. Sin embargo un porcentaje de error entre 0% y 100% es mucho más fácil de

² Tomado de Andrea Callegaro. FORECASTING METHODS FOR SPARE PARTS DEMAND. ANNO ACCADEMICO 2009/2010. 80 pag. Presentado a DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE TESI DI LAUREA TRIENNALE.

interpretar. Esto es la razón por la cual es a menudo la siguiente fórmula utilizada en la práctica (es decir, ningún factor de 0,5 en denominador):

$$S\text{-MAPE} = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N |(A_t - F_t)| / (A_t + F_t) \quad (2.3)$$

- Señal de Rastreo

La señal de rastreo es un método para verificar la aleatoriedad del error del pronóstico. Por este método se puede calificar el ajuste que hace un modelo de pronóstico a una distribución de datos históricos, es decir si el error del pronóstico es cero el método para el proceso usado es un buen ajuste para el proceso real.

Todo lo anterior se realiza bajo el supuesto que la distribución de los datos es normal (Se asume normalidad en los datos).

La señal de rastreo se usara con base al error acumulado E_T ya que es una buena manera de analizar la naturaleza del error. Para esto se necesita encontrar σ_E su desviación estándar. Bajo la suposición de normalidad según Brown (1963) demostró que el $MAD/ 0.8$ es una buena estimación de la desviación estándar del error aun para distribuciones no normales.

Usando esta estimación estándar del pronóstico del error se puede estimar la desviación estándar para el error acumulada.

$$\sigma_E = \sqrt{1/2\alpha} \left(\frac{MAD}{0.8} \right) \quad (2.4)$$

Con un intervalo de variabilidad de $-K\sigma_E \leq E_T \leq K\sigma_E$

Se expresa el intervalo en términos de la razón del valor absoluto del error acumulado y el MAD.

$$|E_T| \leq K\sigma_E \quad (2.5)$$

$$|E_T| \leq K \left(\sqrt{\frac{1}{2\alpha}} \left(\frac{MAD}{0.8} \right) \right)$$

$$\frac{|E_T|}{MAD} \leq \frac{K}{0.8} \sqrt{\frac{1}{2\alpha}} \quad (2.6)$$

La señal de error se estimara usando una constante de suavización exponencial. Sea Δ_T la estimación inicial del MAD calculando el MAD real para una parte conocida de la serie de tiempo. Para los periodos subsiguientes la estimación se actualiza por medio de la siguiente ecuación.

$$\Delta_T = \beta |e_T| + (1 - \beta)\Delta_{T-1} \quad (2.7)$$

Donde β es la constante de suavización. El cociente de valor absoluto del error acumulado y la estimación del MAD, se obtiene denotando el lado izquierdo de la desigualdad (2.6) para la señal de rastreo en el tiempo T son:

$$p_T = \frac{|E_T|}{\Delta_T} \quad (2.8)$$

El numero critico se define como denotando el lado derecho de la desigualdad (2.6).

$$n = \frac{K}{0.8} \sqrt{\frac{1}{2\alpha}} \quad (2.9)$$

Donde α es la constante de suavización de el pronostico y K es el numero de desviaciones estándar. Si

$$p_T \leq n \quad (2.10)$$

Se decide que el pronostico esta bajo control.³

4.2.4 Inventarios de Repuestos

Cada día en el transcurso de las operaciones de las industrias es necesario que con el tiempo en las maquinas sea remplazado alguna parte o componente realizando cierto mantenimiento, todo esto por el uso constante que se les da, por esta razón como no se tiene claro cuando la maquina va a necesitar una parte de repuesto, se presenta una gran problemática en el control de los inventarios de repuestos debido a su constante demanda intermitente.

En las empresas colombianas este factor es ignorado por que los repuestos no son vistos como inversión sino como un gasto en el que tienen que incurrir, por esto el control y la investigación que se les realiza dentro de las empresas no está muy bien definida ni muy estructurada.

³ Tomado de Planeacion y Control de la Produccion. Daniel Siiper y Robert L. Bulfin jr. Mc Graw Hill. Capitulo 4. Control del pronostico. Paginas 156-159.

Vamos a ver que los inventarios de repuestos representan una gran relevancia como en lo económico y productivo de las empresas, ya que estos pueden hacer que se produzca una parada del sistema productivo por no tenerlos en inventariados o por la obsolescencia que se presentan en algunos casos debido a su mala administración de estos.

Ejemplo: El siguiente es un ejemplo sencillo de las consecuencias de un paro no por un periodo muy largo pero tuvo repercusiones sobre los costos que generaba la realización de un pedido.

En el turno de la mañana de una empresa de impresiones de todo tipo, en la máquina de corte de papel para afiches, no se tenía previsto que una pieza por el uso tenía una grieta y se rompió (Tornillo Ref. 5 uso industrial), causando que la maquina se parara durante todo este turno, fueron a verificar al almacén y el tornillo se había agotado, había un pedido que se debía cumplir en las horas de la tarde de 100 afiches y la producción solo iba en una $\frac{1}{4}$ parte de necesario.

En la empresa había 2 de estas máquinas (Guillotinas), por lo que la producción en este turno quedo en 50% de lo normal. El tornillo necesario tuvo que ser pedido al proveedor, mientras lo suministraban hasta que se realizó el mantenimiento, se perdió la mañana.

Al final del día el pedido solo se pudo entregar en una $\frac{3}{4}$ partes de los pactado, incurriendo en una multa con el cliente por incumplimiento de los requerimientos y además de los sobrecostos que genero el mantenimiento reactivo.

Tener una inventario de repuestos que supla mis necesidades de mantenimiento y recambio de repuestos, en caso imprevistos o cuando realice inspecciones preventivas en las máquinas puede ayudar a mejorar el control de estos en las empresas, por esto a lo largo de este proyecto veremos algunas teorías que nos ampliaran como se puede controlar este tipo de piezas y componentes que necesariamente se deben tener en una empresa para evitar que afecten la estabilidad de los sistemas productivos.

Muchas veces hay que tener en cuenta que si no tenemos un control de repuestos en nuestras empresas, no podemos depender de los proveedores debido a que no se sabe cuándo estos puedan suplir lo que demandamos, puede ser que sea en un día, una semana o hasta meses dependiendo de las característica del repuesto que necesitemos.

Poseer una idea de cómo controlar los repuestos en las empresas de Colombia puede ayudar aspectos como impactos económicos, productividad, perdida de inversión y perdida de repuestos por obsolescencia.

Por lo tanto, las piezas de repuestos poseen componentes que debemos tener en cuenta a la hora cuando debemos utilizarlos, cuando ya no sirven (Obsolescencia)

y cuanto debo tenerlos. Estos aspectos son los que nos indican cuando debo comprar o no un repuesto

- 1) Características de los repuestos.
- 2) Clasificación de los repuestos.

4.2.5 Características de los Repuestos

Los inventarios de repuestos tienen características peculiares que los distinguen de los otros, la característica principal que poseen es que el consumo de estos presenta una variación intermitente entre intervalos de tiempos, puede que durante un mes utilice cierta cantidad de repuestos pero puede que los próximos 2 meses no utilice ninguno de estos repuestos. Otra característica de los inventarios de repuestos es que son fabricados para que se utilicen solo en algo en específico y no se puede utilizar para remplazarlo en una maquina en general en cualquiera de sus partes. De ahí se deriva el término de Obsolescencia de inventarios debido a que se almacenan muchas referencias que no se usan sino cuando ya no sirven.

Los inventarios de repuestos necesitan de una gran inversión debido a que las partes no son muy baratas, además de los costos por el mantenimiento de estos dentro de la empresa. La administración de los repuestos es una labor muy delicada debido al manejo de capital que se requiere para controlar este.

- Métodos de análisis según clasificación de las piezas de Repuesto.

Para realizar un análisis de los inventarios de repuestos se debe tener en cuenta que estos se comportan según ciertos aspectos y características como, la frecuencia de consumo de estos, la criticidad del repuesto, el lead time y el precio por unidad del repuesto. Con estas podemos tomar una decisión acerca de cómo podemos elegir una política para controlar estos de la manera más adecuada.

Un análisis común que se puede realizar es el siguiente:

- 1) Análisis FSN
- 2) Análisis ABC
- 3) Análisis VED
- 4) Análisis SDE
- 5) Análisis HML

- Clasificación FSN

Es basada en el uso de los repuestos, esta clasificación identifica a los repuestos que son utilizados constantemente, pocos usados y que no son usados por largos periodos.

Rápido movimiento (F): Son ítems usados una o más veces por mes.

Lento movimiento (S): Son ítems que son usados una vez por mes.

No movimiento (N): Son ítems que no son usados por 2 años.

Con esta clasificación la empresa puede realizar un análisis para implementar una política de inventario que debe aplicar dependiendo de la clasificación de los repuestos, es decir, si los repuestos tienen clasificación (N) se cuánto debo almacenar que cantidad y por cuánto tiempo lo puedo tener en el almacén.

- Clasificación SDE

Esta clasificación es basada en el Lead time del repuesto. Está conformada por los siguientes componentes.

SCARE (S): Son ítems importados y que tienen un lead time de más de 6 meses.

Difficult (D): Son ítems que tienen un lead time de 15 días o menos de 6 meses.

Easily available (E): Son ítems que tienen un fácil acceso con un lead time no superior de 15 días.

Esta clasificación ayuda a reducir el lead time de los repuestos, reduciendo los costos debido a si se presenta que hay agotados en el inventarios de repuestos, previniendo que se pueda controlar este parámetro un poco, y por ultimo ayuda a saber cuándo debo comprar y cuanto debo pedir teniendo en cuenta para cuando lo necesito.

- Análisis VED

Esta clasificación es basada en la criticidad de los repuestos, es decir que tan importante es una pieza de recambio, componente para mantenimiento etc. Para nuestro sistema productivo, cuanto me puede costar en costos no contar con unos ítems para realizar un recambio de este en el momento que se requiere. Un ejemplo muy notable es que no se tenga un repuesto de un avión durante la guerra, la perdida que puede generar y desventaja en que no se usen una cierta cantidad de aeronaves sería un impacto muy notable durante la guerra. La clasificación VED se puede decir que la componen tres partes que caracterizan a los repuestos, ya sean vitales, esenciales y deseables.

Vital (V): Se llama a un repuesto vital si por su falta para recambio, puede causar un impacto muy alto en la productividad de la empresa o si incurrir en altos costos si la parte se necesita adquirir en caso de emergencia.

Esencial (E): Se llama a un repuesto esencial cuando la pérdida en productividad por la falta de este no es muy alta ni muy baja.

Deseable (D): Se llama a un repuesto deseable cuando la pérdida en productividad no es muy significativa debido a la falta de este.

El análisis VED ayuda a controlar con más frecuencia la disponibilidad de los repuestos reduciendo en gran parte los impactos por falta de estos en la productividad de las empresas.

- Análisis ABC

El análisis ABC es realizado con base al consumo de los repuestos, se puede realizar por un Pareto que nos permite ver el consumo del repuesto anualmente.

Clase A: El 10% de estos repuestos contribuyen en un 70% del consumo total.

Clase B: El 20% de estos repuestos contribuyen en un 20% del consumo total.

Clase C: El 70% de estos repuestos contribuyen en un 10% del consumo total.

En un sistema de repuestos específicos puede pasar que en un año no se hayan usado todos los repuestos, por eso es recomendable usar una clasificación ABC para analizarlos.

- Política de artículos "A"

Máximo control.

Análisis de valor.

Tener más de un proveedor.

Revisión constante de la administración.

- Política de artículos "B"

Mínimo control.

Ordenes con grandes cantidades.

Tener varios artículos en un mismo proveedor.

- Análisis HML

Clasificación basada en el precio por unidad.

De alto costo (H): Es un artículo que posee un costo por encima de \$40000 pesos colombianos.

De medio costo (M): Es un artículo que posee un costo entre \$4000 y \$40000 pesos colombianos.

De bajo costo (L): Es un artículo que posee un costo por debajo de \$4000 pesos colombianos.

Permite un control de cuanto debo dinero debo tener para comprar el repuesto, y para saber cómo debo cuidarlo dependiendo de su valor, es decir almacenarlo y manipularlo.⁴

4.2.6 Políticas de Control de Inventarios de Repuestos

Según Kennedy *et al.* (2002) propone algunos modelos para controlar los repuestos, pero primero se debe tener en cuenta los siguientes objetivos para el control de inventarios de repuestos:

- ¿Cuántos repuestos debería yo tener en mi inventario? (Política de control)
- ¿Cuándo debo reabastecer el repuesto?
- ¿Que cantidad debo pedir del repuesto?

Para responder a estas preguntas, es necesario tener las siguientes condiciones:

- ¿Cual es la importancia (Criticidad) de cada repuesto?
- ¿Que seguimiento debo hacerle al inventario de repuesto, continuo o periódico?
- ¿Que tipo de política debo utilizar?

Existen 2 factores importantes en los repuestos, su criticidad y el diferente número de repuestos que debo mantener como un Stock de Seguridad, para esto se pueden utilizar diferentes métodos (Se mencionaron en la sesión 5.2.2), el análisis ABC y SDE. La clasificación ABC es usada, A repuestos que tienen una

⁴ Tomado de www.productivity.in/knowledgebase/Plant%20Engineering/g.%20Spare%20Parts%20Management.pdf

atención personalizada, control más estricto y mayor prioridad que B y C. La política de control ya sea continua o periódica se deben escoger según la estrategia que la persona plantee, en la revisión continua el nivel de Stock siempre se conoce es decir es determinado, y en la revisión periódica el stock es determinado o predeterminado en el instante kR ($k= 1,2, 3, \dots$). La ventaja de la revisión continua es que se requiere un menor nivel de stock de seguridad, y la revisión periódica provee un nivel de servicio mayor.

Los parámetros para el control de inventarios son el punto de orden(s), nivel máximo para ordenar stock de seguridad (S), el periodo de revisión (R) y la cantidad económica ordenada (Q).

Según Silver *et al.* (1998), propone un control de inventario según esta tabla.

Tabla 1

Tabla 1. Tabla de selección para el sistema de inventario de control.⁵

Clasificación	Revisión continua	Revisión periódica
A	(S-1,S) o (s,Q)	(R,s,S)
B	(s,Q)	(R,S)
C	(s,S) o EOQ	(R,S) o EOQ

Fuente: Tomado de Handbook of maintenance Management and Engineering et al (2009).

Estos modelos de inventarios de repuestos tienen en cuenta las características de los repuestos, como el lead time a largo plazo, la demanda lenta y aleatoria, el riesgo de escasez y vejes del repuesto, en cada caso se tiene en cuenta el punto de orden, el costo total y la cantidad a pedir.

⁵ Tomado de Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Daoud Ait-Kadi. Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer .Capitulo 9. pag 202, Tabla 9,4.

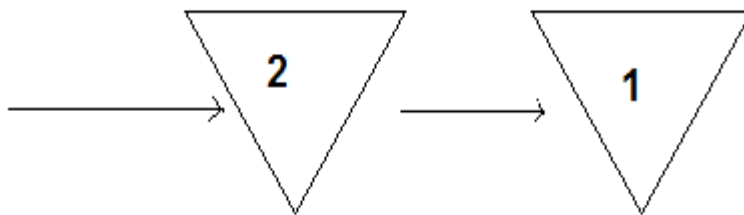
4.2.7 Inventario de una Cadena de Abastecimiento de Dos Escalones

Hoy en día se ha incrementado el interés por controlar los inventarios a través de la Cadena de Abastecimiento que contenga mas de 2 escalones, la gestión de inventarios de multi-escalon es una parte crucial para la Cadena de Abastecimiento de toda empresa. Con el desarrollo investigativo acerca de los inventarios multi- escalon se han creado diferentes técnicas más eficientes para el control de estos que aumentan la coordinación por toda la Cadena de Abastecimiento. Otra de las razones son las tecnologías de la información que han creado una infraestructura diferente y ha aumentado considerablemente la coordinación entre las diferentes partes de la cadena de abastecimiento

4.2.8 Estructura de un Sistema Multi-Escalon

Los sistemas de inventarios de multi- escalon son muy comunes en la distribución de piezas de repuestos. Basados en la figura siguiente tenemos 2 instalaciones, la instalación 1 es donde están los consumidores y la instalación 2 es la que abastece a la estación 1, la cual tiene un proveedor externo.

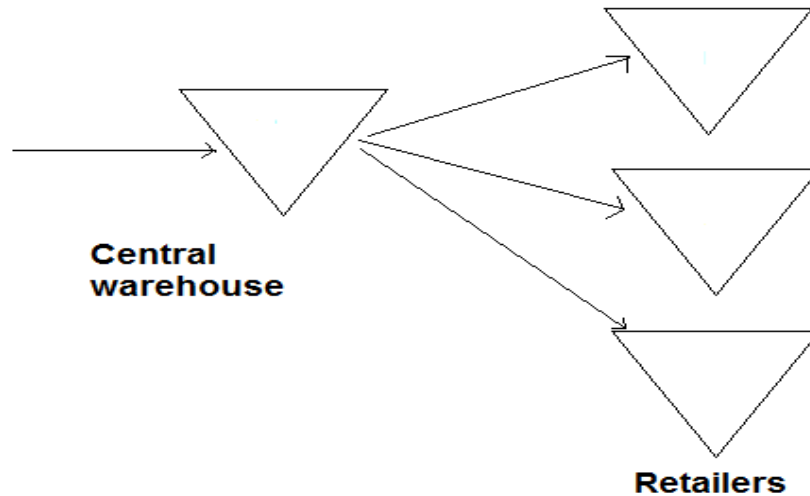
Figura 1. Sistema de inventario en dos locaciones.



Fuente: Elaborado por el autor.

En un sistema de distribución de inventario, en general siempre es divergente, el número de instalaciones paralelos incrementa según el flujo de los materiales. En un sistema arborescente, cada stock tiene un predecesor, para un sistema con 2 escalones se tiene una instalación central y un número determinado de minoristas por así decirlo.

Figura 2. Distribución de un sistema de inventario de 2 eslabones.



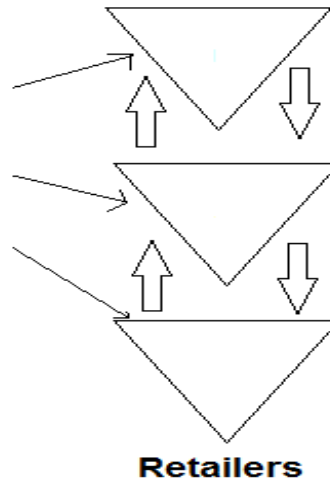
Fuente: Elaborado por el autor.

Los stocks en los retailers o minoristas se deben mantener altos por que tienen o poseen una demanda alta, la instalación central es la que le da soporte y provee a los minoristas, por lo que el inventario en la Central le proporciona a las minoristas o retailers un lead time menor y menos variable, lo cual permite que los stocks de los retailers sea menor. Peor el costo de tenencia de inventario en la Central aumenta por la cantidad de unidades que debe mantener.

- Traspasó de unidades lateralmente entre el sistema de inventario.

Considerando la figura 2 podemos decir que con base a la Bodega Central podemos realizar un juego entre los stocks de los retailers, es decir los retailers les pueden suministrar unidades a la bodega central al igual que esta, y también se puede tener un modelo de traspaso de unidades verticalmente, es decir como los retailers se presentan paralelamente en la figura, cada uno puede dar y obtener unidades uno del otro.

Figura 3. Traspasó lateral entre minoristas.



Fuente: Elaborado por el autor.

Estos traspasos laterales de unidades son muy comunes en casos de emergencia cuando se necesita nivelar el stock en un determinado minorista, esto sucede frecuentemente cuando se presenta escasez de algún ítem, pero al hacer estos intercambios se puede incurrir en un mayor costo que pedir la unidad normalmente desde la Bodega Central, aunque el lead time de pedido de una pieza o producto disminuye considerablemente.⁶

4.3 DESARROLLO Y ESTADO ACTUAL, CONTROL DE INVENTARIOS DE REPUESTOS EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE 2 ESCALONES

4.3.1 Pronósticos de demanda de Repuestos

- Metodo Croston's (Abreviatura CR).

Tiene en cuenta los valores de demanda y los intervalos de tiempo entre ellas. El método es ampliamente utilizado en la industria y se ha incorporado en varios paquetes de software de predicción.

Muchos autores se han empeñado en ofrecer múltiples mejoras del este método, por lo cual existen muchas modificaciones desde el año en que se creó, también

⁶ Tomado de Sven Axater. INVENTORY CONTROL. Segunda Edición. Springe. Capitulo 8. Paginas 188-190.

se hechos muchas comparaciones con otros métodos de pronósticos y en algunos casos se ha dado que los resultados entre los métodos son similares. Este método es utilizado constantemente para pronosticar demandas erráticas.

El método original de Croston's (CR) separa el tiempo entre transiciones consecutivas P_t (media de los intervalos de la demanda) y en transiciones individuales de tiempo Z_t (media histórica de la demanda). Teniendo en cuenta el periodo t , si no ocurre demanda entre ese periodo t estimado y el intervalo de llegada supuesto, y si al final de transcurrido t ninguno de los parámetros anteriores permanecen sin cambio, la demanda ocurre solo si $X_t > 0$, entonces podemos estimar por:

$$Z_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)Z_{t-1} \quad (3.1)$$

$$P_t = \alpha G_t + (1 - \alpha)P_{t-1} \quad (3.2)$$

Donde:

X_t es el valor actual de la demanda en el instante t .

G_t es el valor actual del tiempo de la transición consecutiva de un dato en el instante t , suavización constante entre cero y uno.⁷

El pronóstico de demanda por periodo de tiempo t es dado por:

$$F_{t+1} = \frac{Z_t}{P_t} \quad (3.3)$$

- Aproximacion Syntesos- Boylan

Un error en el pronostico Croston's fue reportado por Syntesos y Boylan, quienes propusieron una aproximación correcta de la demanda estimada de este método: El método SBA o SB. Syntetos and Boylan (2005).

Ellos expusieron que el método Croston's esta sesgado, y demostraron que el valor esperado CR no es de μ/p , donde:

X_n = Demanda en el periodo n .

⁷ Tomado de Andrea Callegaro. FORECASTING METHODS FOR SPARE PARTS DEMAND. ANNO ACCADEMICO 2009/2010. 80 pag. Presentado a DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE TESI DI LAUREA TRIENNALE.

α_i = Constante de suavización usada para actualizar el intervalo entre demandas.

α_d = Constante de suavización usada para actualizar el tamaño de la demanda

M_n = Estimador del promedio de intervalos entre demandas consecutivas.

X'_n = Estimador del tamaño promedio de la demanda.

$X'_{n,n+1}$ = Estimador del tamaño promedio de la demanda por periodo calculado al final del periodo n hacia el periodo n+1 (Pronostico de la demanda).

El método de Syntetos y Boylan modificado en el 2005 es

$$X'_n = \alpha_d X_{n*} + (1 - \alpha_d) X'_{n*} \quad 0 < \alpha_d < 1 \quad (3.4)$$

$$M_n = \alpha_i (n - n*) + (1 - \alpha_i) M_{n*} \quad 0 < \alpha_i < 1 \quad (3.5)$$

$$X'_{n,n+1} = \left(1 - \frac{\alpha_i}{2}\right) X'_n \quad t = 1, 2, 3 \dots \quad (3.6)$$

Donde n^* ($n-1$) es el índice del periodo anterior donde la suavización ya fue ejercida (Periodo anterior con demanda cero) y usualmente $\alpha_d = \alpha_i$.⁸

- Suavización exponencial simple (SES)

La suavización exponencial simple generalmente se basa en la premisa que el nivel de las series de tiempo debería fluctuar constantemente o cambiar lentamente en el tiempo, bajo tal supuesto el tiempo en la serie $y(t)$ puede ser descrito por:

$$y(t) = S(t) + \varepsilon(t) \quad (3.7)$$

Donde $S(t)$ es una constante de tiempo t y cambia lentamente en el tiempo, $\varepsilon(t)$ es una variable aleatoria que es usada para describir el efecto de la fluctuación estocástica. Es decir esta ecuación (3.7) describe el comportamiento de la demanda bajo el suponiendo que existe alguna variación.

⁸ Tomado de Mohamed Ben Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Dawoud Alkad Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer .Capitulo 9. pag 200.

Bajo el modelo, $S(t)$ es un parámetro para el pronóstico $y'(t + \tau)$ en el tiempo t , y podemos decir que:

$$y'(t + \tau) = S(t) \quad (3.8)$$

Donde τ es el horizonte del pronóstico.

SES es aplicado basado en las observaciones en las series de tiempo, dando una estimación de $S(t - 1)$ donde el periodo es $t-1$ y la nueva observación es $y(t)$ en el periodo t , el SES estima el $S(t)$ de la siguiente manera:

$$S(t) = \alpha y(t) + (1 - \alpha)S(t - 1) \quad (3.9)$$

Donde α es el parámetro de suavización entre 0 y 1 y determina el nivel de significancia o confiabilidad de cada observación. Entre mayor sea el nivel medio de los cambios en el proceso, en la serie de tiempo se debería ver mas influenciado la estimación, por lo tanto el parámetro de suavización debería ser entre mas cercano a 1 mejor.

- Adaptive Exponential Smoothing (AES)

A veces es necesario cambiar los parámetros de suavización α y el $S(t)$, cuando la tasa de cambio de la demanda no es común, con esto podemos tener un mejor ajuste por medio de los siguientes parámetros:

Primero introducir 2 señales de errores:

Error aislado.

$$E(t) = r e(t) + (1 - r)E(t - 1) \quad (3.10)$$

Error absoluto.

$$A(t) = r |e(t)| + (1 - r)A(t - 1) \quad (3.11)$$

Donde $e(t) = y(t) - y'(t+\tau)$ (demanda menos el pronóstico) y r es un parámetro de error (Como el Alfa en SES), basado en las dos señales de errores construimos un tipo de señal de control:

$$Ts(t) = \left| \frac{E(t)}{A(t)} \right| \quad (3.12)$$

Las características de esta señal de control del error son que varía entre 0 y 1, teniendo en cuenta que el comportamiento de los datos son estacionarios el valor arrojado se acercará más a cero y sino es así, es debido a que esta aumentado la tendencia de los datos a través del tiempo.

Mejora para la suavización exponencial adaptativa.

Para la mejora de la suavización exponencial adaptativa se utilizan 2 modelos, el primero se utiliza para predecir y describir en los modelos de series de tiempos, el nivel de cambio es lento y se nombra como modelo 1, el otro se utiliza para modelos de series de tiempos con gran tendencia y se nombra como Modelo 2. La señal de control decide que modelo aplicar.

El modelo 1 es el Adaptive Exponential Smoothing (AES), el modelo 2 tiene la siguiente forma:

$$y(t) = S(t) + \phi(t)t + \varepsilon(t) \quad (3.13)$$

Donde $S(t)$ y $\varepsilon(t)$ tienen los mismos significados que en el modelo 1, y $\phi(t)$ representa el raro cambio de las series de tiempo en su tendencia, Es decir esta ecuación (3.13) describe el comportamiento de la demanda bajo el suponiendo que existe alguna variación, y se le agrega el componente de medición para los cambios de tendencia que en realidad describe los bruscos cambios de la demanda, por lo cual se da de la siguiente forma:

$$y'(t + \tau) = S(t) + \phi(t)\Delta t \quad (3.14)$$

Donde Δt es el cambio en el tiempo del pronóstico y $S(t)$ es estimado por (3.9).

Y $\phi(t)$ es estimado por $\phi(t) = y(t) - y'(t)$

EL controlador de errores monitorea las series de tiempo por la ecuación $d(t)$ por medio de la diferencia de $y(t)$.

$$d(t) = y(t) - y(t - 1) \quad (3.15)$$

Como $y(t)$ esta aplicado al modelo 1, $d(t)$ podría fluctuar alrededor de cero, si esta aplicado al modelo 2 el $d(t)$ seria mayor o menor que cero, el controlador dependiendo de estos resultados elije cual seria el mejor pronósticos a aplicar si el numero de $d(t)$ con un mismos numero es excesivo en cantidad y en los limites pactados que debe seguir como tendencia, se elije la ecuación (3.14) de lo contrario se utiliza (2).⁹

- Bootstrapping Forecastings

Formula básica para Pronósticos

La formula básica para pronósticos, es la siguiente ecuación:

$$S_{t+1} = \alpha y_1 + (1 - \alpha)S_t \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad t > 0 \quad (3.16)$$

Donde ξ_t es el error del pronóstico en el periodo t .

Para el Bootstrapping forecasting tomaremos esta ecuación como base y le ajustaremos la ocurrencia del error en el pronóstico básico planteado.

Bootstrapping of Forecasts

Muchas veces cuando debemos realizar un pronóstico, y usualmente no poseemos base de datos históricos, y no tenemos observaciones disponibles, podemos realizar una modificación a la formula básica de pronósticos de la siguiente manera:

$$S_{t+1} = \alpha y_{1original} + (1 - \alpha)S_t \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad t > 0 \quad (3.17)$$

Donde la $y_{1original}$ permanece constante, esta técnica utilizada se conoce como bootstrapping.

Ejemplo:

En un pronóstico pasado el ultimo punto (Y_n) calculado fue 70 quedando como el $y_{1original}$ constante durante el calculo , con un valor de suavización de $S=71,7$. Mientras se posea los dos valores del periodo anterior se puede calcular por

⁹ Tomado de LI Zhi-Peng, YU Hong, LIU Yun-Cai, LIU Fu-Qiang. "An Improved Adaptive Exponential Smoothing Model for Short-term Travel Time Forecasting of Urban Arterial Street". Vol. 34, No. 11. November, 2008.

medio de la formula (3.17) el S_t del periodo siguiente por el método Bootstrapping.¹⁰

$$S_{t+2} = 0,1(70) + (0,9)71,7 = 71,35 \quad \alpha = 0,1 \quad t > 0$$

Lo anterior es una breve introducción de como puede funcionar el método Bootstrapping ahora se planteara una opción para calcular el pronostico de una serie de datos que posean una demanda variante irregular, por medio de aproximaciones para establecer una distribución que se ajuste al comportamiento de los datos en el tiempo, este método se realiza por medio de observaciones que permiten tomar datos de los comportamientos que esta teniendo el repuesto a través del tiempo, se crea una base de datos con un numero n de observaciones tomada de una muestra Original, seguido de la partición de la muestra Original en varias muestras, para obtener datos aleatoriamente los datos y distribuirlos entre el n numero de sub-muestras tomadas.

El procedimiento Bootstrapping sigue los siguientes pasos:

- 1) Se toma una muestra original (En este caso una muestra de la demanda histórica del repuesto) con un numero de n datos, y se le llama a la muestra X y a los datos de la muestra($x_1, x_2 \dots x_n$) .
- 2) De X original, se comienzan a extraer m sub-muestras que se llaman X_1, X_2, \dots, X_n (esto se considera extracción Bootstrap, donde los datos de la muestra original pueden ser extraídos mas de una vez entre las otras sub-muestras y tienen una probabilidad de extracción de $1/n$).
- 3) Se toma T como la demanda media y se convierte en el parámetro de estudio para cada una de la sub- muestras que poseamos, por lo tanto debemos obtener de cada sub-muestra T.
- 4) Al calcular las demandas medias de cada sub-muestra $T_1, \dots T_n$ podemos decir que el pronostico de demanda para el la muestra original X, pude ser las demandas medias calculadas anteriormente.¹¹

¹⁰ Tomado de <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc432.htm>

¹¹ Tomado de Bookbinder .H., Lordahl A.E., 1989, "Estimation of inventory re-order levels using the bootstrap statistical procedure" IIE Transactions, n.21, p. 302–312.

4.3.2 Clasificación de los inventarios de repuestos.

Algunos repuestos tienen la particularidad de que presentan una demanda con intervalos de tiempo muy diferente y en cantidades diferentes también, por lo tanto para los repuestos es fundamental tener en cuenta 2 parámetros de reconocimiento.

ADI- Average inter-demand interval: Es el promedio del intervalo entre dos demandas de un repuesto, usualmente es expresado en periodos, y este es tomado como referencia para que la empresa compre lo que necesite según el intervalo promedio.

CV- Coefficient of variation: Es la desviación estándar de la demanda sobre el promedio de esta.

$$ADI = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (3.18)$$

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_i - \varepsilon)^2 / N}}{\varepsilon} \quad (3.19)$$

Donde

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_i}{N} \quad (3.20)$$

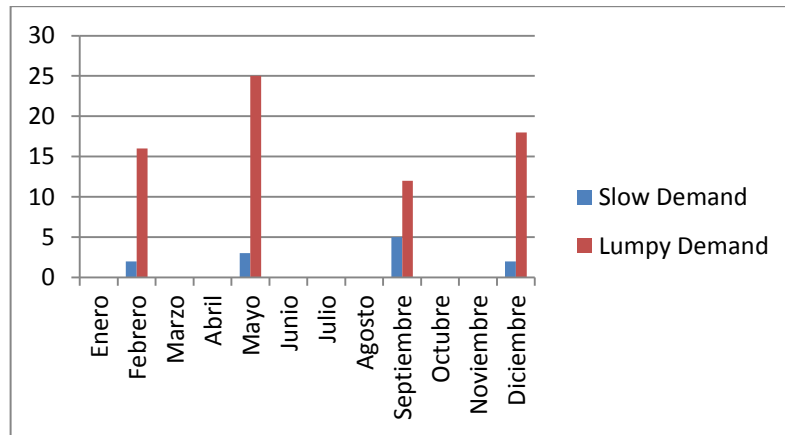
Para el ADI, el N es el número de periodos en que la demanda es cero, mientras que para el CV es el número de todos los periodos.

- Otro análisis de repuestos con base al método Croston.

Para poder hacer un análisis de la demanda de los repuestos debemos tener en cuenta el comportamiento de estos, los repuestos que no presentan demanda intermitente se les puede aplicar un método de suavización exponencial, pero muchos repuestos presentan comúnmente demandas intermitentes donde hay periodos que no hay ningún tipo de demanda (demanda cero), y esto se deben tratar por métodos diferentes a los convencionales.

Se dice que una demanda es intermitente si los intervalos entre una demanda y otra son demasiados largos, y variantes en el tiempo con tamaños de demandas medias o altas. Y una demanda errática es cuando se presentan largos intervalos de tiempo entre una demanda y otra, pero con una cantidad mínima de demanda.

Figura 4. Periodo de tiempo, demanda intermitente y lumpy.



Fuente: Elaborado por el autor.

Para las demandas erráticas e intermitentes Bartezzaghi(1996) identifico los siguientes factores que contribuyen a las características de estas según su consumo:

- 1) Numerosidad de los consumidores potenciales.
- 2) Frecuencia con la que el consumidor los necesitan.
- 3) La heterogeneidad del consumidor (medida por el índice de Gini)
- 4) Variedades de peticiones de los diferentes consumidores (medida por el coeficiente de variación de la demanda de un solo cliente).
- 5) La correlación entre las peticiones de los clientes.

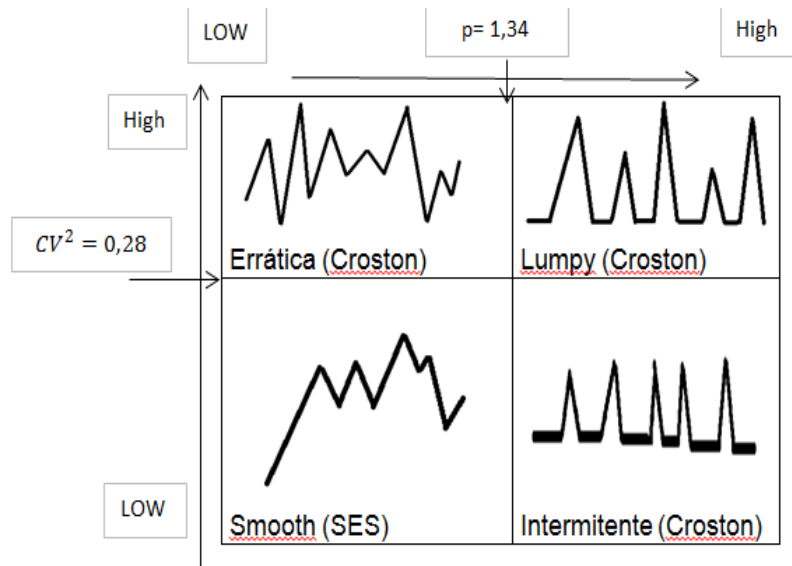
El primero y el segundo factor determinan la intermitencia de la demanda, si se tienen muy pocos consumidores es decir poca demanda de repuesto, se debe tener un control directo de los repuestos, y se debe pronosticar para suplir esta pequeña demanda. El tercer y cuarto factor determina la demanda errática, las órdenes son cada vez más irregulares, y la información acerca de cuando se utiliza cada vez más el repuesto es difícil de saber. No siempre puede que se den estos factores, puede ser que las primeras órdenes para consumir unos repuestos se comporten de una manera constante en el tiempo y se convierta en una orden sin variación en la demanda. Esto sucede cuando hay una fuerte correlación entre las demandas.

Por esto se dice que los efectos de estos factores son erráticas, intermitentes y Lumpiness (Dudosos).

Otro método para la clasificación de la demanda es por medio de la variabilidad del tamaño de la demanda. Syntetos (2005) volvió a examinar la comparación entre los métodos Croston's, basados en la demanda intermitente, este estudio se baso para buscar expresiones aproximadas para el valor teórico del error cuadrado medio. Estos identificaron dos claves en las variables de intervalo medio de la demanda (p) y coeficiente de variación (CV).¹²

Para poder realizar su análisis compararon los métodos de pronósticos SES y el Croston's en unos datos, y clasificaron cual era el método a aplicar según el tipo de comportamiento de la demanda, dependiendo de los valores (p y CV):

Figura 5. Categorización de los repuestos. .¹³



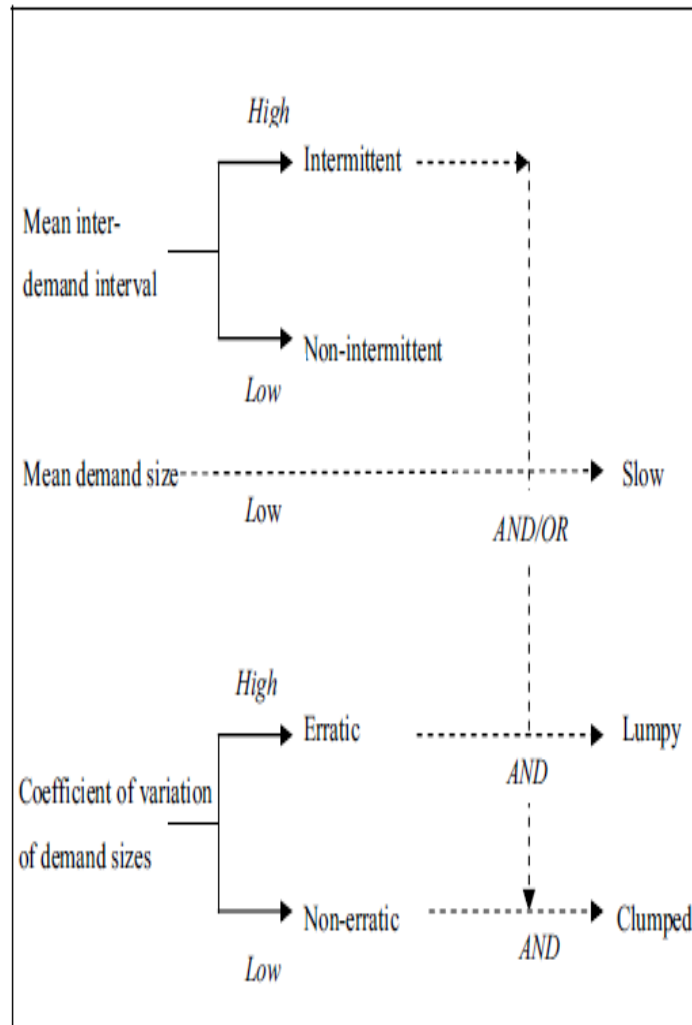
Fuente: Adaptado de Sintetos and Boylan et al(2005).

Con estos analisis se puede tener una base teorica acerca del tipo de comprtamiento de los repuestos y de sus demandas para poder saber aplicar un tipo de pronosticos que se ajuste mas a la caracteristica de los repuestos.

¹² Tomado de John E. Boylan and Aris A. Syntetos. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. Capitulo 20. Pag 479-506.

¹³ Grafica tomada de Tomado de John E. Boylan and Aris A. Syntetos. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. Capitulo 20. Pag 479-506.Figura. Fig. 20.3. Categorisation of SKUs by forecast accuracy.

Figura 6. Categorización de la demanda de los repuestos.¹⁴



Fuente: Adaptado de Sintetos and Boylan et al(2005).

¹⁴ Grafica tomada de Tomado de John E. Boylan and Aris A. Syntetos. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. Capitulo 20. Pag 479-506. Fig. 20.4. Categorisation of demand patterns for service parts.

4.3.3 Puntos de referencia (Benchmarks)

En este caso el Benchmarking es una evaluación comparativa entre los diferentes métodos de pronósticos, con el fin de determinar cual se ajusta mejor a los datos reales obtenidos de las demanda los productos(en este caso demanda de los repuestos), para relizar estas comparaciones se tiene en cuenta la demanda real del item y los parametros del pronostico arrojado o elaborado por el metodo de pronostico elegido.

Basado en lo planteado por Syntetos and Boylan (2005, p.305-309), se elijen 2 métodos para realizar el análisis y comparación entre los diferentes métodos de pronóstico que se pueden ajustar mejor y dan mejor confiabilidad al pronóstico resultante de la demanda de los repuestos:

- RGRMSE (Relative geometric root-mean-square error) o relación geométrica de la raíz cuadrada del error.

$$RGRMSE = \frac{\left(\prod_{t=1}^N (D_{a,t} - F_{a,t})^2\right)^{\frac{1}{2n}}}{\left(\prod_{t=1}^N (D_{b,t} - F_{b,t})^2\right)^{\frac{1}{2n}}} \quad (3.21)$$

Donde los símbolos $D_{k,t}$ y $F_{k,t}$ representa la demanda actual y el pronostico de demanda, k representa el tipo de método de pronostico es decir en este caso los métodos A y B en el periodo t. El error en un período de tiempo determinado se compone de dos partes: La primera debido al método y el otra debido al período de tiempo solamente.

- PB (The percentage best) o mejor porcentaje.

EL PB sirve mucho mas que los otros métodos anteriores mencionados como el MAPE y el RGRMSE debido a que para todas las series de tiempo sea cual sea arroja el porcentaje de error que se desea, según (Syntetos and Boylan, 2005, p.308). Se formula de la siguiente manera:

$$PB_m = \frac{\sum_{t=1}^N B_{m,t}}{N} * 100 \quad (3.22)$$

Donde el el tiempo del periodo es t, y se da dos opciones $B_{m,t} = 1$ si $|D_{m,t} - F_{m,t}|$ es minimo de $|D_{k,t} - F_{k,t}|$ para todos los K metodos utilizados en la comparacion, y $B_{m,t} = 0$ de lo contrario. Al comparar los K metodos de pronosticos el que tenga

mayor valor PB es el metodo que posee mejor rendimiento para los datos utilizado.

4.3.4 Modelo de política con demanda aleatoria y lead time aleatorio.

El stock de seguridad es duro de encontrar en este caso específico debido a que la demanda y el lead time son aleatorios, muchos sistemas de inventarios de control que se propusieron, los cuales tienen un uso más común según ciertos aspectos:

- Sistema de revisión continúa.
 - (s, Q) política: Cuando el nivel del stock alcanza s, entonces ordeno Q unidades.
 - (s,S) política: Cuando el nivel de stock es igual o menor que s, ordeno una cantidad máxima de stock de seguridad S.
 - (S-1,S) política: Cada vez que se toma una cierta cantidad de un repuesto desde del stock de seguridad una orden se ejerce para que la posición del inventario regrese a S.
- Sistema de revisión periódica.
 - (s,R) política: Cada tiempo de revisión kR ($k= 1,2,3\dots$) , una cantidad suficiente es ordenada para suplir el nivel de stock de seguridad S.
 - (s,S,R) política: Si el tiempo de revisión es kR , el nivel de stock es menor o igual a s ordeno una cantidad suficiente hasta llegar al nivel de stock máximo de seguridad S, de lo contrario no se ordena.

El sistema (S-1, S) de política de inventario, también llamado based- stock, es muy usado para el control de ítems tipo A y particularmente para los repuestos con tiempo de vida y reposición largas. El (S-1, S) es un caso especial de la política de control de inventarios (s,S).

Se opera de la siguiente manera: S son las piezas de repuestos que se mantienen en el stock y con demandas aleatoria independientes, para el recambio de piezas, se tiene una tasa de λ por unidad de tiempo. Después de cada solicitud de cambio, una unidad de estas misma es ordenada. El lead- time tiene una distribución de probabilidad con media τ . Si se sobrepasa el stock S antes de que se remplace una pieza, se incurre en un costo de penalización L esto debido a que se incurre en un sobre costo para realizar un pedido de emergencia del

repuesto que no se tiene. Un costo de mantenimiento H por unidad que se incurre en el stock. El (S-1, S) sistema de inventario, es equivalente a un M/G/S/S en un estado estable sabiendo que esto obedece a una distribución Poisson:

$$Q_s(j) = \text{Probabilidad} \left\{ \frac{j \text{ unidades en el stock}}{\text{stock deseado} = S} \right\} \quad (4.1)$$

$$Q_s(j) = \frac{\frac{(\lambda\tau)^{S-j}}{(S-j)!}}{\sum_{j=0}^S \frac{(\lambda\tau)^j}{j!}} \quad j = 0,1,2, \dots, S. \quad (4.2)$$

EL costo esperado por unidad es TC(S) en el estado estable, teniendo en cuenta el nivel de stock S, este es la suma del promedio del costo de mantener y el costo promedio de penalidad. La expresión de TC(S) es dado por:

$$TC(S) = h * [S - (1 - p(S)) * \lambda\tau] + \lambda lp(S) \quad (4.3)$$

Donde:

$$p(s) = Q_s(0) = \left(\frac{(\lambda\tau)^s}{S!} \right) \quad (4.4)$$

S* Es obtenido por resolver

$$\frac{dTC(S)}{dS} = 0 \quad \text{para } S = S^* \quad (4.5)$$

Una aproximación para S* es dada por

$$S^* = \lambda\tau + \alpha\sqrt{\lambda\tau} \quad (4.6)$$

Donde

$$\alpha = \left[2 \ln \left(1 + \frac{L}{h\tau} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.7)$$

Este es un modelo propuesto para mejorar el control del inventario de repuestos según los variantes parámetros que estos poseen.¹⁵

¹⁵ Tomado de Mohamed Ben Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Daoud Alkad. Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer .Capitulo 9. pag 201.

4.3.5. Políticas de inventario, Pedido del Repuesto

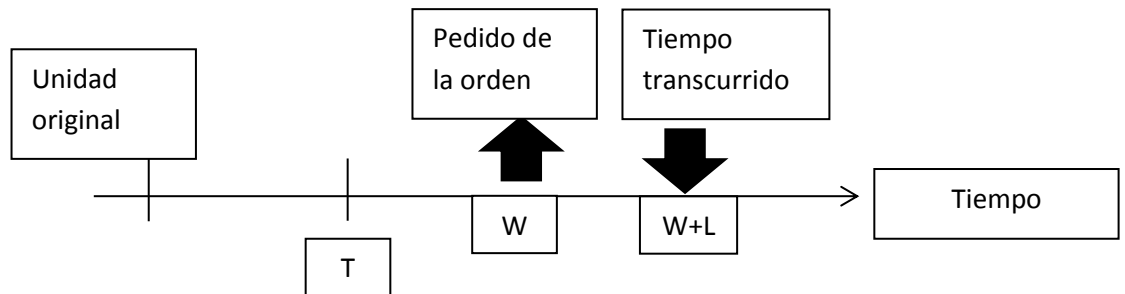
Remplazo y Política de pedido de un repuesto.

Para los repuestos es recomendado ejercer 2 políticas de orden y remplazo específicamente para el repuesto tipo A: El modelo básico con sin remplazo preventivo de repuestos, y el otro modelo con un remplazo preventivo de los repuestos.

- Modelo Básico Sin Remplazo Preventivo

Suponga que existe un tiempo t que ha transcurrido desde que la unidad de repuesto ha sido puesta en funcionamiento. Este repuesto ha sido ordenado para su remplazo en el tiempo W por lo tanto el tiempo en que se remplaza el repuesto es en $W+L$, donde L es asumido como una constante, se incurre en un costo H de almacenar el repuesto. Por ultimo se tiene un costo de escases del repuesto π en el que se incurre cada periodo de tiempo.

Figura 7. Ordenes y ciclo de remplazo de los repuestos.



Fuente: Tomado de Handbook of maintenance Management and Engineering et al (2009).

El costo total esperado $TC(W)$ es la suma del promedio del costo de ocurrencia H y el promedio del costo de escases:

$$TC(W) = \pi \int_t^{w+L} \frac{f(x)}{R(t)} dx + \int_{w+L}^{\infty} \frac{f(x)}{R(t)} dx \quad (5.1)$$

El instante W^* es el cual minimiza el costo total:

$$\frac{dTC(W)}{dW} = 0 \quad \text{para } W = W^* \quad (5.2)$$

Esto es equivalente a encontrar W como:

$$r(W + L) = \frac{h}{\pi} \quad (5.3)$$

Donde $r(t) = f(t) / R(t)$ es el porcentaje de fallas.

- Política para ordenar unidades por medio de remplazo de repuestos preventivamente.

En el modelo anterior la orden es usada solo cuando el repuesto se rompe. El remplazo preventivo no fue considerado, como sabemos, para los sistemas con gran porcentaje de fallas en los repuestos, las acciones preventivas son necesarias para reducir el costo de remplazar los repuestos y evitar daños severos por fallas.

El siguiente modelo propone una política de pedido de repuesto con tiempo-dependiente, en el cual se cambia un repuesto después de un tiempo establecido, y en se tiene en cuenta en el inventario, si un repuesto aun sigue con vida útil, o si el original es remplazado en cierto periodo de tiempo.

La unidad original empieza a operar desde el $t=0$, y el horizonte de la planificación es infinito. Si la pieza original no falla hasta un tiempo previamente determinado t_0 , la orden para el remplazo del repuesto es hecha en el tiempo t_0 y después el Lead-time L del repuesto este es entregado. Entonces, si el repuesto original ha fallado se aprovisiona el repuesto inmediatamente, de lo contrario si el repuesto sigue funcionando, se manda la pieza de repuesto pedida al inventario y se remplaza por el repuesto original cuando esta falle o cuando haya pasado cierto intervalo de tiempo especificado en donde se debe hacer el cambio de la pieza, $t_1 - L (t_1 \in [L, \infty])$. Por otra parte si el repuesto original falla antes de t_0 , se crea una orden para solicitar el repuesto inmediatamente en el tiempo de falla t y se cambia el repuesto después apenas se tenga a mano este. El lead time para repuestos que fallan antes de t_0 se considera $L_c(t)$ cada unidad de repuesto tiene un tiempo de vida representado por una función de densidad $f(t)$.

Los costos considerados son los siguientes: un costo π por unidad de tiempo en el cual se incurre cuando hay escases de un repuesto, h es el costo por tener una

unidad en el inventario de repuestos, y un costo A_1 y A_2 que son costos por las órdenes regulares pedidas y ordenes expedidas.

El total del costo esperado por unidad de tiempo es $k(t_0, t_1)$, Dohi *et al.* (1996) Basados en el siguiente teorema de órdenes de políticas: Para cada orden en el tiempo t_0 , y para el tiempo permitido del repuesto en el inventario t_1^* que es el cual minimiza el costo total esperado $k(t_0, t_1)$.

$$t_1^* \rightarrow \infty \text{ si } N(t_0) \leq 0$$

$$t_1^* \rightarrow L \text{ si } N(t_0) \geq 0$$

Donde

$$N(t_0) = \pi \left[\int_0^{t_0} l_e(t) * F(t) dt - \int_{t_0}^{t_0+L} F(t) dt + (L - L_e(t_0))F(t_0) \right] \\ + h \left[\int_0^{t_0} (1 - l_e(t))R(t) dt + (L_e(t_0) - L)F(t_0) \right] \\ + [L - L_e(t_0) + L_e(0)] - A_1 * F(t_0) - A_2 * R(t_0) \quad (5.4)$$

Y

$$l_e(t) = \frac{dL_e(t)}{dt} \quad (5.5)$$

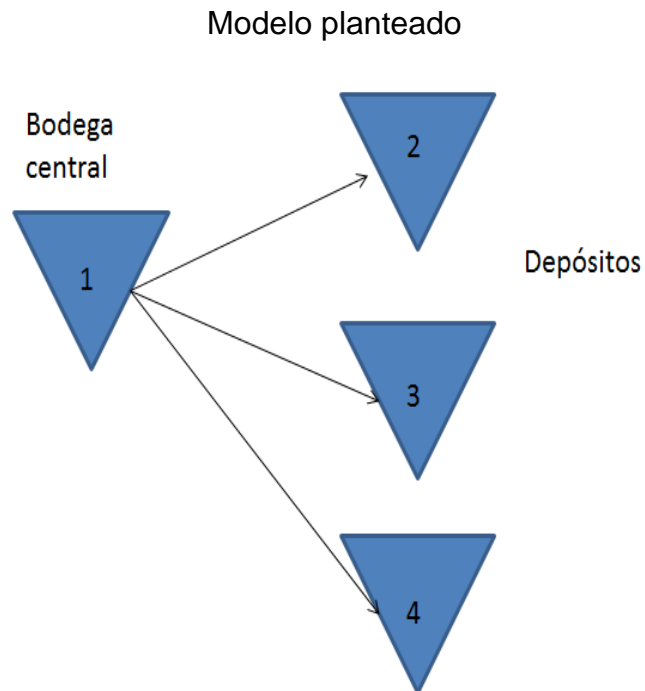
Este importante resultado promedio nos quiere dar a conocer que nosotros deberíamos solo considerar ya sea 2 casos extremos, cuando el repuesto es puesto en inventario y solo se hace el cambio cuando falla el repuesto original ($t^* \rightarrow \infty$), o cuando el remplazo de la pieza de repuesto es inmediatamente después que se entrega este ($t^* \rightarrow L$).¹⁶

¹⁶ Tomado de Mohamed Ben Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Daoud Al-Kad. Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer. Capitulo 9. pag 206.

4.3.6 Modelo planteado de Control de Inventario de repuesto en una Cadena de Abastecimiento de 2 Escalones.

El modelo de inventario en una cadena de abastecimiento de 2 escalones tiene en cuenta los siguientes factores, que influyen en las decisiones de mantener los niveles de inventario a través de toda la cadena de abastecimiento.

Figura 8. Modelo de Cadena de Abastecimiento de 2 escalones.



Fuente: Elaborado por el autor.

Nota:

Se tiene en consideración que los desplazamientos a través de la SC de 2 escalones, solo se realizarán de una manera horizontal.

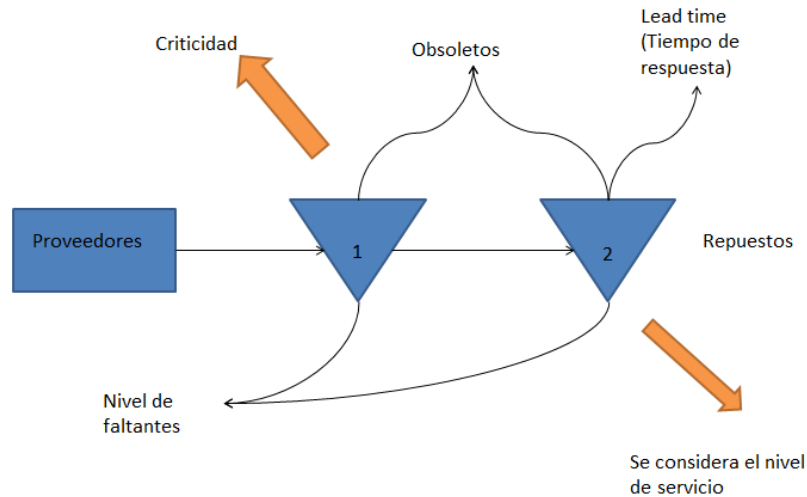
Se consideran tener en cuenta parámetros que afectan el nivel de inventarios en la SC, tanto en los warehouse como en las instalaciones.

Factores relevantes:

- Nivel de servicio
- Tiempo de respuesta (LT)
- Manejo de obsoletos

- Manejo de faltantes – nivel esperado de faltantes – cuanto puedo perder de dinero Costo de Oportunidad.
- Criticidad de repuestos.

Figura 9. Factores que influyen en modelo de Cadena de Abastecimiento de 2 escalones.



Fuente: Elaborado por el autor.

4.3.7. Modelos para manejo de faltantes, obsoletos y tiempo de respuesta para el inventario de repuesto.

-MODELO

Se considera una cadena de abastecimiento de 2 escalones que consiste de un warehouse y n depósitos o retrailers quienes pueden tener una máquina específica, la cual tiene i repuestos que pueden fallar infrecuentemente e independiente, cuando falla un repuesto i en la máquina de un depósito n , estas son abastecidos por el depósito que los provee (warehouse en este caso) o si se tiene a mano el repuesto dentro del depósito se cambia tomándolo de allí mismo. Otra parte fundamental para resaltar en el modelo es cuando un consumidor pide un repuesto y este se le lleva a sus manos hasta que se hace el cambio del repuesto si las partes fallan el repuesto es enviado desde el warehouse o bodega central, y posteriormente después que se repara la pieza se puede enviar un repuesto al depósito n para que se tenga hay.

El modelo determina una política de inventario en el warehouse y en los depósitos n para minimizar el tamaño del inventario en cada uno con su costo mientras se mantiene un promedio de tiempo de respuesta especificado.

Supuestos:

- Los red de distribución de repuestos consiste en una Bodega Central, n depósitos o retrailers, y los consumidores.
- Los envíos entre la Bodega Central y los n depósitos j son tratados por una media estocástica T_{ij} . El tiempo desde el depósito al consumidor es ignorado y se asume como cero.
- Todo el inventario es mantenido en la Bodega Central y en los depósitos.
- Cada repuesto es fundamental para el funcionamiento de los equipos y sin ellos se reduce la capacidad de las operaciones de la empresa.
- El tiempo de falla de el repuesto i es tratado con una distribución exponencial con media $1/\lambda_i$, este comportamiento es independiente y no importa en la maquina que este.
- Cuando la maquina falla, el consumidor conoce que repuesto falla y pide al depósito j para que este se la provea. Se tiene en cuenta que el técnico que hace la reparación o remplazo de el repuesto siempre esta disponible para realizarlo.
- Se asume que K_j , es el numero de consumidores en el deposito j , se ha modelado para la demanda de los repuestos i en el deposito j un comportamiento de tiempo entre arribos que seria la ocurrencia de las fallas con una tasa de $\lambda_{ij} = K_j \lambda_i$. Este supuesto es razonable cuando el numero esperado de fallas de las maquinas es relativo respecto al numero de maquinas.
- Se asume una amplia capacidad para reparación suministrada desde la Bodega Central, la cantidad de ocurrencia y de sucesivas fallas del repuesto i son variables aleatoria con media R_i .
- No se asumen desplazamientos laterales entre depósitos, solo hay desplazamientos horizontales desde la Bodega Central a los depósitos j .

Con base a los supuestos se propone la siguiente notación:

$I = \{1, 2, \dots, n\}$ = Tipos de Repuestos.

$J = \{1, 2, \dots, n\}$ = Numero de depósitos, el numero cero representa la Bodega Central.

ι_i =Tasa de falla de el repuesto i

$\lambda_{ij} = K_j \iota_j$ = Es la tasa de demanda por parte i en el deposito j.

S_{ij} = Nivel de Stock base de el repuesto i en el depósito j (Variable de decisión).

$S1_{ij}$ =Nivel máximo de el Stock base.

R_j =Media de reparación de el repuesto i que esta en la Bodega Central.

T_j =Media del tiempo de transporte entre la Bodega Central y el depósito j.

L_{ij} = Es el lead-time de facilitar el repuesto i al deposito j (variable aleatoria), el lead-time del deposito es el tiempo de transporte desde la bodega central, el lead- time en la bodega central es el tiempo de reparación o cambio de la pieza.

θ_{ij} = Tasa de demanda de el repuesto i facilitado por el deposito j durante el lead-time (θ_{i0} es constante, mientras j sea diferente de 0 este valor depende de S_{ij}).

$B_{ij}(S_{ij}, S_{i0})$ =Valor esperado de faltantes en el deposito j cuando el nivel del stock base de la parte i establecido por S_{ij} en el deposito j y en la bodega central S_{i0} .

$I_{ij}(S_{ij}, S_{i0})$ =Nivel de inventario en la mano esperado en el deposito j cuando el nivel de stock base de la parte i es establecida por S_{ij} en el deposito j y en la bodega central S_{i0} .

$B_i(S_{i0})$ = Nivel esperado de faltantes en la bodega central cuando el stock base es establecido por S_{i0} .

$I_i(S_{i0})$ = Nivel de faltantes del inventario a mano en la bodega central cuando es establecido por S_{i0} .

τ_j = Tiempo de respuesta máximo de demora en que se cambia o reemplaza en el depósito j.

W_{ij} = Tiempo promedio en que el consumidor espera para recibir el repuesto i desde el depósito j.

W_i = Tiempo de respuesta a el consumidor desde el deposito j.

- FALTANTES

Para el calculo de los faltantes se basara en el modelo propuesto por Sherbrooke y un modelo binominal propuesto por Graves. El modelo Métrico proporciona una aproximación de la distribución para el inventario en mano y los faltantes en cada depósito en una cadena de abastecimiento de 2 escalones, con un comportamiento de fallas determinado por una distribución Poisson y una amplia capacidad para repuestos a reparar en el warehouse.

El teorema de Palm's encuentra las órdenes pendientes en cada depósito. Estas son representadas por un tasa de llegada de $M/G/\infty$ como cantidad del sistema, que llega al deposito.

De acuerdo con el teorema de Palm's, el nivel con que llega las ordenes son representados por un modelo de colas $M/G/\infty$, comportandocce como una distribución Poisson con media $\frac{\lambda}{m}$, donde λ es la tasa de arribos y $\frac{1}{m}$ el tiempo de servicios promedio.

En este sistema se estima que la tasa de arribo es λ_{ij} , donde i es el tipo de repuesto y j el tipo de deposito (tenemos en cuenta que si $j=0$; quiere decir que nos referimos a la bodega central). El tiempo de servicio o lead time es l_{ij} , que es la suma del tiempo de trasporte de la bodega central a los depósitos y lo tiempos de retraso de la bodega central. El Q_{ij} son las órdenes pendientes del repuesto en el depósito j .

$$E[(Q_{ij} - S_{ij})] = \sum_{k=S_{ij}+1}^{\infty} (k - S_{ij}) \text{Probabilidad}(Q_{ij} = k) \quad (6.1)$$

- MODELO SIMETRICO

Para el cálculo de los faltantes se basara en la aproximación del método simétrico, primero se identifica un estado estable para las expresiones de los faltantes y después se miden los niveles de inventario de repuestos en el warehouse usando el Teorema de Palm's. Se debe tener identificados la tasa demanda promedio y el promedio de lead-time en el warehouse. Con este modelo se supone que el comportamiento de la demanda de los repuestos i es tratada como una distribución Poisson, con una tasa de $\lambda_{ij} = \sum_{j \in J} \lambda_{ij}$. El lead-time de la parte i en el warehouse, L_{i0} , es la suma del tiempo del transporte entre el warehouse hasta el

deposito y el tiempo de reparación de la pieza i . El tiempo de recambio de piezas es independiente en cada depósito y tiene media R . El tiempo de transporte representado por la media T_j y este depende de un depósito en particular.

Los faltantes dependen del lead-time, del promedio de tiempo de transporte de la pieza y de la probabilidad de que ocurra el cambio del repuesto de esta misma.

$$\begin{aligned}
 E[L_{i0}] &= \sum_{j \in J} T_j * \text{Probabilidad}(\text{Demanda que se origina desde el deposito } j) + R_i \\
 &= \sum_{j \in J} T_j * \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{l \in J} \lambda_{il}} + R_i \quad (6.2)
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta el teorema de Palm's, las ordenes pendientes en la bodega central de la parte Q_{i0} tiene una media de $\theta_{i0} = \lambda_{i0} * E[L_{i0}]$. Con esto se puede estimar el nivel de faltantes esperados en la Bodega Central o Warehouse.

$$\begin{aligned}
 B_i(S_{i0}) &= \sum_{K=S_{i0}+1}^{\infty} (k - S_{i0}) \text{Probabilidad}(Q_{i0} = k) \quad (6.3) \\
 &= \sum_{K=0}^{\infty} k * \text{Probabilidad}(Q_{i0} = k) \\
 &\quad - \sum_{K=0}^{S_{i0}} k * \text{Probabilidad}(Q_{i0} = k) - S_{i0} [1 - \sum_{K=0}^{S_{i0}} \text{Probabilidad}(Q_{i0} = k)] \\
 &= E[Q_{i0}] - S_{i0} + \sum_{K=0}^{S_{i0}} (S_{i0} - k) \text{Probabilidad}(Q_{i0} = k) \\
 &= E[Q_{i0}] - S_{i0} + \sum_{K=0}^{S_{i0}-1} (F_{i0}(k)) \\
 &= \theta_{i0} - \sum_{K=0}^{S_{i0}-1} (1 - F_{i0}(k)) \quad (6.4)
 \end{aligned}$$

Donde

$$F_{i_0}(k) = \sum_{l=0}^k \text{Probabilidad}(Q_{i_0} = l) = \frac{\sum_{l=0}^k e^{-\theta_{i_0}} \theta_{i_0}^l}{l!} \quad (6.5)$$

Para el valor esperado del inventario a mano en la bodega central se propone:

$$\begin{aligned} I_i(S_{i_0}) &= \sum_{K=0}^{S_{i_0}} (S_{i_0} - k) \text{Probabilidad}(Q_{i_0} = k) \\ &= \sum_{K=0}^{S_{i_0}-1} (F_{i_0}(k)) \\ &= S_{i_0} - \theta_{i_0} + B_i(S_{i_0}) \quad (6.6) \end{aligned}$$

Todos los valores son independientes por lo tanto el nivel de stock en la Bodega Central el lead- time lo es también, por lo tanto los valores en este son exactos.

Con esto a continuación podemos establecer otro modelo para establecer los niveles de faltantes e inventario en el número de depósitos j dentro de la cadena de abastecimiento de 2 escalones, los factores que afectan el lead-time de los depósitos son el tiempo de transporte de la Bodega Central a los depósitos j y los tiempos de retrasos que puedan ocurrir en la Bodega central (En estos se consideran lead-time del proveedor de la bodega central y otros tiempos desperdiciados). El valor esperado de retrasos en la Bodega Central es según la ley de Little's: ¹⁷

$$E[L_{i_0}] = T_j + \frac{B_i(S_{i_0})}{\lambda_{i_0}} \quad (6.7)$$

Por lo tanto para $j \in J$,

$$\theta_{ij}(S_{i_0}) = E[Q_{ij}] = \lambda_{ij} \left(T_{ij} + \frac{B_{ij}(S_{i_0})}{\lambda_{i_0}} \right) \quad (6.8)$$

¹⁷ Denis Caglar, Chung- Lun Li, David Simchi-Levi. Two- Echelon Spare Parts Inventory System Subject to Service Constraint. February 2002. Páginas 5-11.

Usando de nuevo el teorema de Palm's, derivamos las ecuaciones de la Bodega Central para faltantes y nivel de inventario esperado.

$$B_{ij}(S_{ij}, S_{i0}) = \theta_{ij}(S_{i0}) - \sum_{K=0}^{S_{i0}-1} (1 - F_{ij}(k)) \quad (6.9)$$

$$I_{ij}(S_{ij}, S_{i0}) = (S_{ij}) - \theta_{ij}(S_{i0}) + B_{ij}(S_{ij}, S_{i0}) \quad (6.10)$$

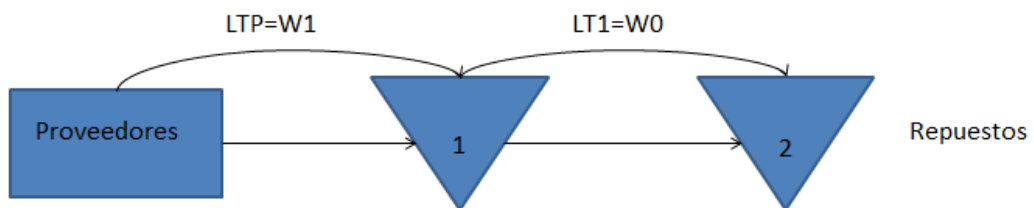
Donde $F_{ij}(k)$ es la probabilidad de las órdenes pendientes de la parte o repuesto i en el depósito j es en más K ,

$$F_{ij}(k) = \frac{\sum_{l=0}^k e^{-\theta_{ij}} \theta_{ij}^l (S_{i0})}{l!} \quad (6.11)$$

- Tiempo de Servicio

Según Caglar (2003) afirma o define que existen restricciones de servicios en el tiempo para que el consumidor tome o reciba la parte o repuesto que se va a necesitar en la SC de 2. Las restricciones de servicios son consideradas basadas sobre el tiempo promedio de respuesta. Caglar plantea que el tiempo de servicio es cuando el consumidor recibe el repuesto desde que la falla del repuesto es determinada o reportada desde los depósitos.

Figura 10. Lead time entre Bodega Central y depósito.



Fuente: Elaborado por el autor.

Podemos ver que el tiempo de transporte, retrasos y cambio de la pieza o repuesto desde el Bodega Central al depósito es denotado como $W0$ y también se tiene en cuenta el tiempo en el que se ordena al proveedor en caso que en la

Bodega Central no se tenga el repuesto, en estos tiempos se tiene en cuenta retrasos o imprevistos. Por lo tanto se puede denotar que W_{ij} es la suma de W_0 y W_1 .

Según los supuestos que se tuvieron tenemos en cuenta que el lead-time desde el depósito j al consumidor es cero, el tiempo de respuesta según lo anterior para el depósito central es igual al tiempo que el depósito se demora en recibir la orden. El valor esperado de tiempo de respuesta W_{ij} de el repuesto i en el depósito j se propone ser encontrado por la ecuación de Little's:

$$W_{ij} = \frac{B_{ij}(S_{ij}, S_{i0})}{\lambda_{ij}} \quad (6.12)$$

El tiempo de espera esperado por el consumidor es:

$$\begin{aligned} W_j &= \sum_{i \in I} W_{ij} * \text{Probabilidad}(\text{Que falle la parte } i) \\ &= \sum_{i \in I} \frac{B_{ij}(S_{ij}, S_{i0})}{\lambda_{ij}} * \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{i \in I} \lambda_{ij}} = \sum_{i \in I} \frac{B_{ij}(S_{ij}, S_{i0})}{\sum_{i \in I} \lambda_{ij}} \end{aligned} \quad (6.13)$$

La restricción del tiempo de respuesta es igual a

$$\sum_{i \in I} \frac{B_{ij}(S_{ij}, S_{i0})}{\sum_{i \in I} \lambda_{ij}} < \tau_{ij} \quad (6.14)$$

Que es equivalente a decir

$$\sum_{i \in I} B_{ij}(S_{ij}, S_{i0}) \leq \tau_{ij} \sum_{i \in I} \lambda_{ij}$$

Bueno para simplificar $\tau_{ij} \sum_{i \in I} \lambda_{ij}$ se tiene en cuenta o nos referimos β_{ij} con esto podemos decir que la ecuación es la siguiente:¹⁸

¹⁸ Denis Caglar, Chung- Lun Li, David Simchi-Levi. Two- Echelon Spare Parts Inventory System Subject to Service Constraint. February 2002. Páginas 5-11.

$$\sum_{i \in I} B_{ij}(S_{ij}, S_{i0}) \leq \beta_{ij} \quad (j \in J) \quad (6.15)$$

- Eliminación de inventario obsoleto

Muchas organizaciones fallan en deshacerse del inventario por el que se ha pagado una gran cantidad de dinero. Mantener inventario obsoleto requiere mas dinero en efectivo que podría gastarse en otras inversiones de inventario y ocupa espacio dentro de las bodegas que también podría ser utilizado de una mejor manera. La eliminación rápida de inventario obsoleto, vuelve a las organizaciones capaces de utilizar el dinero y el espacio asignado para situaciones más rentables. Las empresas han recurrido a un programa para identificar inventario obsoleto conocido como "Red Tag".

El Red Tag consiste en etiquetar el inventario viejo con un sticker de color rojo que tenga la siguiente información:

- Persona quien realiza la inspección.
- La fecha de cuando se etiqueta.
- La fecha de revisión.

Una vez etiquetado correctamente el inventario viejo se mueve a una zona de cuarentena de la bodega donde espera para ser usado o la revisión. Si el inventario no es utilizado para la fecha de revisión entonces este se liquida tratando de disminuir las perdidas implementando ciertas estrategias para su liquidación. Sin embargo existe la posibilidad de renovar la fecha de revisión cuando se revisa por primera vez, si se desea conservar por más tiempo el inventario más costoso o que genera más perdidas su liquidación que su mantenimiento. Cada vez que se revisa se debe limpiar la zona de cuarentena liquidando todo el inventario que se revise por segunda vez y renovar el inventario que se revisa por primera vez si así se desea o solo una parte de este inventario revisado por primera vez, o simplemente liquida todo dependiendo de la estrategia de liquidación que se quiera implementar, con el fin de hacer espacio en la zona de cuarentena para mas inventario obsoleto.

Este programa se originó por los fabricantes de automóviles Japoneses. Un ejemplo de un evento de Red Tag en efecto, es cuando los concesionarios de carros están anunciando ofertas automóviles de fin de año, tales como el evento de Red Tag de las ventas de Toyota que es muy común. Ellos están simplemente eliminando o liquidando el inventario obsoleto para hacer espacio para inventario nuevo y más rentable. Muchas empresas capacitan a los empleados para que

hagan el Red Tag por sí mismos. El Red Tag funciona para cualquier tipo de inventario, no solo para inventario de consumibles sino también como los repuestos.¹⁹

4.3.8 Criticidad y tipos de clasificación de los repuestos.

La criticidad es una medida ponderada del efecto que provocaría la falla funcional de un equipo, la velocidad de reparación de la falla y la frecuencia de ocurrencia de la falla. La criticidad se considera como un indicador de la magnitud del problema. Una vez obtenido el nivel de criticidad, éste será empleado para definir la estrategia de mantenimiento de cada equipo.

La magnitud de la criticidad depende de:

- El efecto que es función del efecto cuantificado sobre el medio ambiente y seguridad (MAS), el efecto cuantificado sobre la producción (PROD), el efecto cuantificado sobre los costos operativos (COP) y la disponibilidad de equipos de reserva (stby).
- La velocidad de reparación que está en función del tiempo máximo admisible fuera de servicio (TAMFS) y del tiempo en falla (TEF).
- La frecuencia de fallas que está en función del tiempo medio entre fallas (MTBF), los datos históricos del equipo (historial), el nivel de carga al que se somete el equipo respecto a su capacidad nominal (nivel de carga), el régimen de horario de trabajo al que es sometido el equipo (régimen) y el factor de frecuencia de fallas (fff).

La ecuación de criticidad:

$$- \text{Criticidad} = \{[(PROD + COP) * stby] + MAS\} * fff$$

Cuantificación de la velocidad de reparación

- **TMAFS** es el tiempo en horas que tolera la instalación asociada al equipo en falla antes de manifestar pérdidas de producción o efectos sobre el medio ambiente y/o seguridad.
- **TEF** es el tiempo en horas que el equipo está en condición de falla. Es recomendable obtener este valor para cada módulo, a partir de la experiencia operativa del personal de mantenimiento. Para su cómputo se considera la disponibilidad de recursos de mano de obra, repuestos,

¹⁹ Tomado de Maurice D. Cavitt. EVALUATING OBSOLETE INVENTORY POLICIES IN A HOSPITAL'S SUPPLY CHAIN. DECEMBER 2010. Páginas 63. Presented to the Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska. In Partial Fulfillment of Requirements For the Degree of Master of Science.

herramientas, contratos de servicios, etc. TEF es la sumatoria de tiempos que se van acumulando; **TEF** = demora en detección + demora en aviso + tiempo consumido en obtener disponibilidad de recursos necesarios + tiempo neto de reparación + tiempo de puesta en marcha.

- Este cálculo es fundamental para evaluar los efectos posteriormente: Si $TEF < TMAFS$ no habrán efectos o serán leves, pero Si $TEF > TMAFS$ los efectos serán más significativos a medida que la diferencia sea mayor
- En caso de no tener datos precisos para determinar el tiempo consumido en obtener la disponibilidad de todos los recursos necesarios, se puede utilizar como guía la siguiente tabla:

Tabla 2. Tiempo estimado según las condiciones de cada recurso.

Recursos	Condiciones	Tiempo estimado
MANO DE OBRA	Requiere mantenimiento especializado, no disponible en el área, sin contrato vigente	2 meses
	Requiere mantenimiento especializado, no disponible en el área, con contrato vigente	3 días
	Requiere mantenimiento disponible en el área	0
Repuestos	Requiere de repuestos de alto plazo de entrega/ importado	16 semanas
	Requiere de repuestos de medio plazo de entrega	8 semanas
	Requiere de repuestos de corto plazo de entrega	1 semana
	Requiere de repuestos existentes en stock	0

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

Cuantificación del efecto

Cuantificar el efecto es la ponderación fundamental de la criticidad. Para ello se asigna los siguientes pesos relativos entre las variables de efecto: 45% para PROD, 45% para MAS y 10% para COP.

Tabla 3. Cuantificación de efectos.

Efecto	ALTO		BAJO		NULO	
	Definición	valor	Definición	valor	Definición	valor
PROD	La falla provoca una pérdida importante dentro de un proceso	45	La falla provoca alguna pérdida dentro del proceso	23	La falla no provoca pérdidas productivas dentro del proceso	0
MAS	La falla provoca un efecto grave de seguridad y/o al medio ambiente	45	La falla provoca un efecto leve de seguridad y/o al medio ambiente	23	La falla no provoca efecto de seguridad y/o al medio ambiente	0
COP	La falla genera un costo operativo mayor o igual a U\$S 5000	10	La falla genera un costo operativo menor a U\$S 5000	5	La falla no genera costos operativos	0

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

Cuantificación de frecuencia de fallas

La frecuencia de falla influye directamente sobre el valor de la criticidad, ya que indica la repetición del efecto.

Tabla 4. Valor de frecuencia estimado de la falla.

	Alta		Media		baja
Frecuencia de la falla	Ocurren > 4 fallas por año. MTBF < 3 meses	Ocurre e/ 1 y 4 fallas por año. MTBF e/ 3 y 12 meses	Ocurre e/ 0.2 y 1 fallas por año. MTBF e/ 1 y 5 años	e/ 0.1 y 0.2 Fallas por año. MTBF e/ 5 y 10 años	Menos de 0.1 fallas por año. MTBF > 10 años
Valor de fff	1	0.9	0.8	0.6	0.4

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

Las fuentes de información para obtener la frecuencia de falla serán las que siguen en orden jerárquico. O sea que de no contar con la primera fuente de información se deberá recurrir a la siguiente:

- **Índice MTBF:** Éste índice se calculará regularmente como parte de la gestión habitual
- **Historial del equipo:** Se procurará construir el índice MTBF en base a cualquier información que se consiga del comportamiento histórico que haya tenido este equipo. En su defecto se puede tomar como referencia algún equipo con similares características y condiciones operativas.
- **Estimación para equipos nuevos sin historial:** se asumen frecuencias de falla alta, media ó baja de acuerdo a tabla auxiliar, considerando las variables Carga y Régimen.

Estimación para equipos usados sin historial: se asumen frecuencias de falla alta, media ó baja de acuerdo a otra tabla auxiliar, considerando las variables Carga y Régimen.

Tabla 5. Estimación de Frecuencia de Fallas para equipos NUEVOS.

Nivel de carga /Régimen	SOBRECARGADO: Equipo opera por encima de su capacidad nominal	NORMAL: Equipo opera a su capacidad nominal	SUBCARGADO: Equipo opera por debajo de su capacidad nominal
CONTINUO: Equipo en servicio 24 hs al día Con arrq/paro > 24 hs	Alta	Media	Baja
PARCIAL: Eq. en servicio más de 12 hs/día Con 1 o 2 arrq/paro al día	Media	Media	Baja
OCASIONAL: Eq. en serv. menos de 12 hs/día entre 1 y 4 arrq/paro al día	Media	Baja	Baja
INTERMITENTE: Equipo en servicio con más de 4 arrq/paro al día	Alta	Alta	Alta

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

Tabla 6. Estimación de Frecuencia de Fallas para equipos USADOS.

Nivel de carga /Régimen	SOBRECARGADO: Equipo opera por encima de su capacidad nominal	NORMAL: Equipo opera a su capacidad nominal	SUBCARGADO: Equipo opera por debajo de su capacidad nominal
CONTINUO: Equipo en servicio 24 hs al día Con arrq/paro > 24 hs	Alta	Alta	Media
PARCIAL: Eq. en servicio más de 12 hs/día Con 1 o 2 arrq/paro al día	Alta	Alta	Media
OCASIONAL: Eq. en serv. menos de 12 hs/día entre 1 y 2 arrq/paro al día	Alta	Media	Media
INTERMITENTE: Equipo en servicio con más de 2 arrq/paro al día	Alta	Alta	Alta

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

Una vez determinados los valores de efecto, velocidad de reparación de la falla y frecuencia de ocurrencia de la falla, se cargan en la ecuación y se calcula la criticidad. El valor de la ecuación se introduce en la tabla 7 y se obtiene la CRITICIDAD del equipo²⁰

Tabla 7. Bandas de criticidad.

Tipo de criticidad	Valor de la Criticidad
Tipo A	$CR \geq 40$
Tipo B	$40 > CR > 20$
Tipo C	$CR \leq 20$

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

²⁰ Tomado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB. Estudio de Criticidad de Equipos. Julio 2005.

- Análisis VED

Este tipo de análisis es aplicable para inventarios de repuestos, pues consiste en evaluar la vitalidad de los repuestos para los equipos. Al final el análisis clasifica la parte en “V” si el repuesto es vital para el funcionamiento del equipo y la ausencia de dicha parte provoca la parada inmediata del equipo y no puede funcionar sin dicha parte bajo ninguna condición. Se clasificará “E” si el repuesto es esencial para el equipo, lo que quiere decir que la ausencia de la parte hace que el equipo no funcione con su rendimiento y su capacidad normal. Se clasificará “D” si el repuesto es deseable para el equipo, lo que quiere decir que la ausencia de la parte afecta las condiciones de seguridad o medio ambiente.

El fin de determinar la vitalidad de un repuesto para un equipo, es saber o tener una idea del nivel de servicio que se desea tener para la política de inventario de ese repuesto. Sin embargo para el diseño de la herramienta que es objeto del estudio, se planteó una ponderación entre la criticidad del equipo al cual pertenece cada repuesto y la vitalidad del repuesto para el equipo. Esto se realizó con el fin de tener en cuenta la criticidad del equipo y obtener una determinación de la vitalidad del repuesto para la organización, para así mejorar la política de inventario que se requiere para cada repuesto.

En la ponderación, se le asignó 65% al valor de la criticidad la cual puede tomar los valores de 65 si es alta, 39 si es media y 26 si es baja. Al valor de la vitalidad se le asignó 35% y puede tomar valores de 35 si es vital para el funcionamiento del equipo, 21 si es esencial y 14 si es deseable para el funcionamiento. Al sumar los valores de la criticidad y la vitalidad, se obtiene un valor que se evaluará para obtener la clasificación VED, así si el valor es mayor a 70 se clasificará “V”. Si el valor de la clasificación es superior a 55 se clasificará “E” y si el valor es menor o igual a 55 se clasificará “D”. Entonces todas las combinaciones posibles entre criticidad y vitalidad quedarían clasificadas de una manera razonable que permitirá una buena política con la determinación de un nivel de inventario deseable. La razón de los porcentajes es porque se quiere priorizar la criticidad del equipo y así obtener mejores resultados y disminuir los tiempos de parada de las plantas, cuando falle un equipo crítico en el proceso y se requiera una parte de repuesto que es vital para su funcionamiento.

Combinación entre clasificación VED y clasificación ABC

Como se ha visto es de gran importancia la criticidad y la vitalidad de los repuestos, pero es sabido también que uno de los objetivos de las organizaciones es disminuir al máximo la inversión en inventario. Por tal razón se ha desarrollado

una combinación entre los análisis VED y ABC, para que además de tener en cuenta la criticidad de los repuestos, también se tenga en cuenta su costo y su volumen de compra, esto con el fin de obtener niveles de servicio más adecuados y obtener una política aun mejor que si solo tuviera en cuenta la criticidad del repuesto. El resultado de la combinación de ambas teorías, es la tabla XXXXX que muestra el nivel de servicio para cada combinación entre clasificación VED y ABC.

Tabla 8. Nivel de servicio para la clasificación VED vs ABC.

ABC\VED	V	E	D
A	90%	80%	70%
B	95%	85%	75%
C	99%	90%	80%

Fuente: Adaptado de Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB et al (2005).

Como se muestra en la figura 11 el nivel de servicio aumenta de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo. La razón es porque se requiere más nivel de servicio para los ítems más vitales, pero menos nivel de servicio para los ítems más costosos que serian los de clasificación A. Entonces estas 9 combinaciones permiten tener en cuenta tanto la criticidad como el costo total del inventario de cada repuesto y así finalmente mejorar la política de inventario.

Figura 11. Análisis VED vs ABC.

ABC\VED	V	E	D
A			
B			
C			

Fuente: Elaborada por el autor.

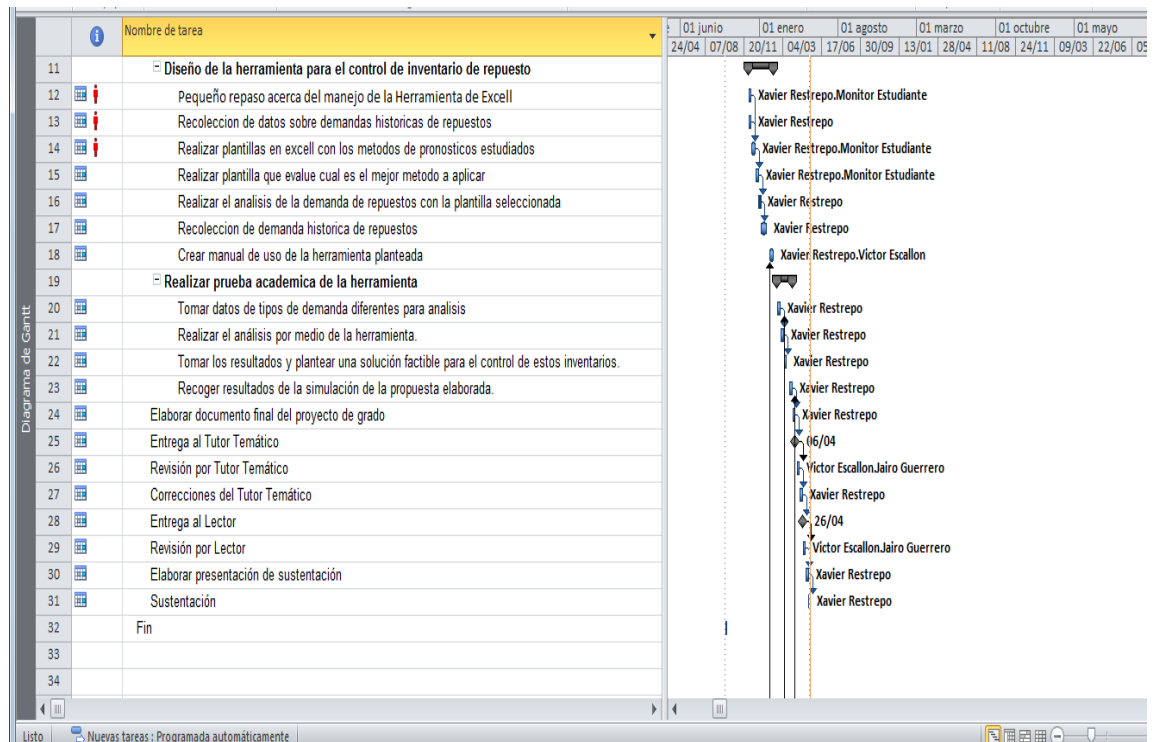
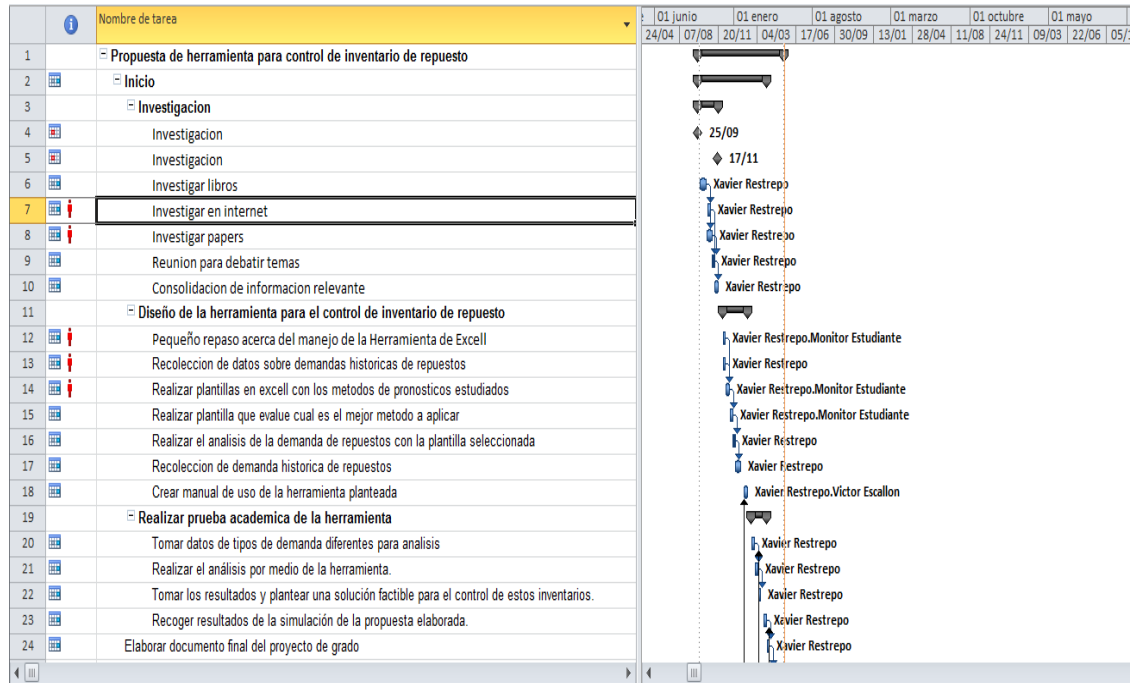
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1 RECURSOS DISPONIBLES

Para el proyecto “Estado actual y propuesta de una herramienta de control de inventarios de repuestos a través de una cadena de suministro” se consideraron los siguientes recursos:

- a. Financieros: no hay recursos externos, todos serán suministrados por los investigadores
- b. Equipos
 - Computador: se necesitara un computador para la documentación del proyecto y el desarrollo de la herramienta, con acceso a internet para la investigación y comunicación entre los dos investigadores, con Microsoft Office Word 2007 y Microsoft Office Excel 2007.
- c. Humanos: Investigador, tutor temático y asesor de edición.

5.2 CRONOGRAMA



5.3 EQUIPO DE INVESTIGADORES

XAVIER RESTREPO VASQUEZ.

VICTOR JAVIER ESCALLÓN SANTAMARÍA.

6. PROPUESTA DE HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE INVENTARIO DE REPUESTO

-Funcionalidad y Usos de la herramienta para el Control de Inventario de Repuesto.

Por medio de la herramienta, sus plantillas y métodos. El usuario podrá acceder a una propuesta para que él pueda pronosticar, clasificar sus repuestos e controlar su inventario con base a 4 factores importantes para el control de los repuestos:

- Nivel de faltantes.
- Nivel de servicio.
- Manejo de Obsoletos.
- Lead time del repuesto.
- Manejo de inventario en una bodega central y 3 depósitos.
- Clasificación del repuesto.
- Política de inventario.

El usuario podrá acceder a una pedir una cantidad de repuestos teniendo en sus manos información básica del manejo de inventario en como por ejemplo nivel de inventario actual, fecha de liquidación de su repuesto, datos históricos de demanda de repuesto, lead time de si repuesto entre otros explicados en la guía de usuario. Al final el usuario estará en la capacidad de saber con base a todos estos múltiples factores cuanto tiene que pedir exactamente en cantidad de cierto repuesto que el este analizando por medio de las diferentes plantillas que la herramienta nos propone ya sea en cada deposito o en su bodega central.

6.1 Estructura de la herramienta

La herramienta es presentada en un archivo de Excel 2011 en formato xlsm, contiene aplicaciones en Excel como Macros, Gráficos dinámicos y la herramienta de Solver.

Nota: Los periodos a analizar y estudiados están en escala de tiempo de meses.

INICIO.

La plantilla de inicio contiene una lista de todos los componentes y plantillas de la herramienta, su función principal es servir como menú para intercomunicar todas las plantillas que el usuario necesita para el análisis de datos de su interés.

PLANTILLA DEMANDA HISTORICA DE REPUESTO.

Contiene los parámetros y datos históricos de la demanda a analizar, junto con los periodos de inicialización que el usuario desea utilizar, tamaño de periodos de simulación y número de periodos a pronosticar. Permite ver por medio de una gráfica dinámica el comportamiento de la demanda en cada periodo.

ANÁLISIS DEL TIPO DE DEMANDA (COMPORTAMIENTO).

Se estipula en este proyecto que para repuestos que presenten un comportamiento de demanda errática, intermitente y lumpy se utilizarán los siguientes métodos de pronósticos:

- Croston's method.
- Syntetos y Boylan method.
- Bootstrapping modifique method.
- Adaptative model 2 method.

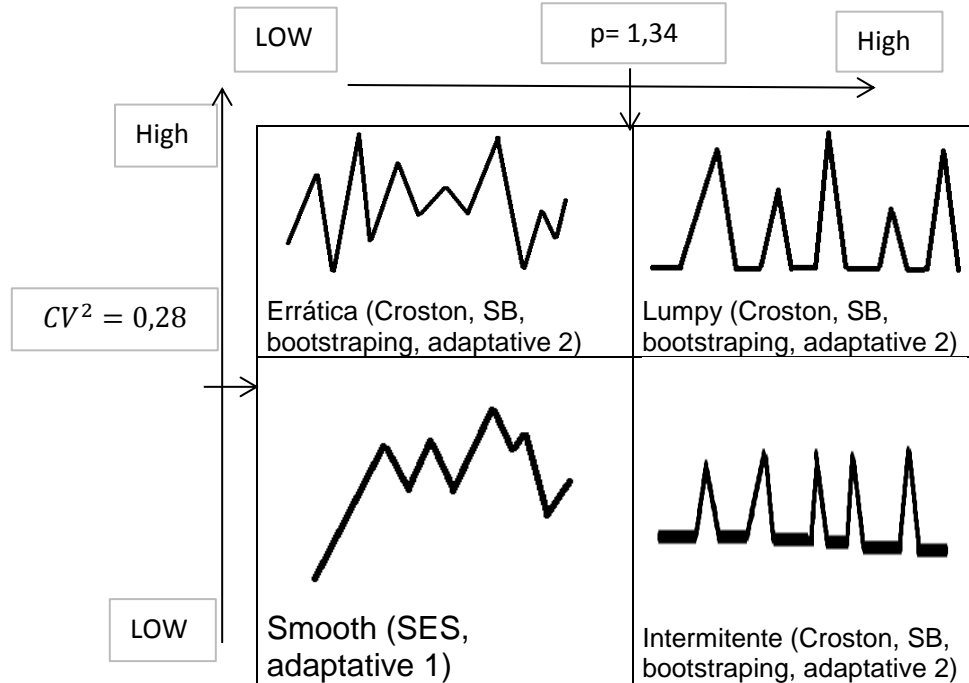
Para repuesto con demanda constante y poca variabilidad en el tamaño de esta, se estipula que se utilizarán los métodos de Suavización exponencial simple (SES), Adaptative model 1, suavización exponencial doblé, y Winters si la demanda presenta estacionalidad en su comportamiento. Posteriormente para seleccionar cual método utilizar y el comportamiento de la demanda, se utilizará el Coeficiente de Variación y el promedio de los intervalos que se presentan entre dos demandas de un repuesto.

ADI- Average inter-demand interval: Es el promedio del intervalo entre dos demandas de un repuesto, usualmente es expresado en periodos, y este es tomado como referencia para que la empresa compre lo que necesite según el intervalo promedio.

CV- Coefficient of variation: Es la desviación estándar de la demanda sobre el promedio de esta.

Esto nos sirve para utilizar lo planteado por Syntetos y Boylan(2005), ellos proponen para selección del método de pronóstico a utilizar según el comportamiento de la demanda (Figura 2). Con base a la figura se plantea una modificación agregando los otros métodos estudiados en el proyecto.

Figura 12. . Categorización de los repuestos modificada.²¹



Fuente: Adaptado de Sintetos and Boylan et al(2005).

Con base a los valores de el coeficiente de variación y el promedio de los intervalos entre la demanda de dos repuestos, se determina el comportamiento de la demanda del repuesto. Y la herramienta sugiere ese tipo de demanda según el análisis planteado.

PLANTILLAS DE CADA MODELO DE PRONOSTICOS

Se tienen las siguientes modelos de pronósticos.

- Croston´s method.
- Syntetos y Boylan method.
- Bootstrapping modifique method.

²¹ Grafica tomada de Tomado de John E. Boylan and Aris A. Syntetos. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. Capitulo 20. Pag 479-506.Figura. Fig. 20.3. Categorisation of SKUs by forecast accuracy.

- Adaptative model 1 method.
- Adaptative model 2 method.
- Suavización exponencial simple.
- Suavización exponencial doblé.
- Winters.

Cada método arroja el pronóstico de cierto número de periodos que el usuario decide en la plantilla de Demanda Histórica de Repuesto, ya sean periodos de inicialización, simulación o de pronóstico. Posee pestañas que cambian los tamaños de periodos de estos tres aspectos. Por último analiza y da resultados de cada uno de los indicadores de control del pronóstico como el MAD, MSD, MAPE y la Señal de Rastreo.

Parámetros

- Constante de suavización del pronóstico ya sea Alfa o Gama según como lo requiera y si lo pide la plantilla del pronóstico.
- Constante de suavización Beta para la señal de rastreo que realiza el pronóstico a los datos analizados.
- El número de desviaciones estándar que el usuario quiere utilizar para el análisis de la señal de rastreo.

Valores de Salida

- Valores del pronóstico en el número de periodos elegidos para pronosticar.
- Error medio absoluto del pronóstico (MAD).
- Error medio cuadrático del pronóstico (MSD)
- Porcentaje promedio de error del pronóstico (MAPE).
- Señal de Rastreo del pronóstico.

COMPARACION DE MODELOS DE PRONÓSTICOS

En esta plantilla se tiene en cuenta los valores de salida de las plantillas de los pronósticos y por medio de el método de comparación RGRMSE (Relative geometric root-mean-square error), se compara en pares, cual de los modelos resulta mejor, es decir la herramienta sugiere cual es el método que presenta menor error, pero no obstante el usuario puede tomar la decisión de cual método usar analizando cual método presenta menor valor en cada parámetro como MAD, MSD y MAPE, analizando por último la señal de control, con base a cada uno de estos componentes el usuario podrá decidir cual pronóstico va a tomar

como referencia para utilizar los valores del pronóstico arrojado y de esta manera poder aplicarlos a la política de inventario que elija.

PLANTILLA DE CALCULO DE FALTANTES ESPERADOS

Esta plantilla calcula un valor esperado de faltantes en cada uno de los depósitos que el usuario desee analizar (Máximo 3) y de la Bodega Central que provee a estos depósitos. Con este parámetro se puede analizar en la plantilla de políticas de inventario cual de las dos opciones que nos da la herramienta de políticas puede ser la que mejor se ajuste a los requerimientos del usuario.

Estas plantillas son de uso interno de la herramienta y el usuario no tiene acceso a estas.

PLANTILLA DE CRITICIDAD

Esta plantilla calcula el valor de la criticidad para cualquier equipo con un historial de fallas. En caso de no existir datos históricos sobre las fallas, requiere los datos de su funcionamiento diario. Al final devuelve el tipo de criticidad calculado bajo los conceptos sobre criticidad mencionados en el marco teórico. Requiere también conocimiento sobre los efectos en la producción, en los costos operativos y en el medio ambiente y seguridad, si el equipo faltase por falla. Se debe decir si cada uno de los efectos es alto, bajo o nulo, teniendo en cuenta la tabla de efecto de la teoría sobre criticidad.

Parámetros:

- Equipo
- Efecto sobre la producción
- Efecto sobre los costos operativos
- Efecto sobre el medio ambiente y seguridad
- Tiempo medio entre fallas
- Cantidad de fallas por año
- Disponibilidad de equipo de repuesto (toma valor 0 si hay otro equipo disponible, 1 lo contrario)

En caso de no haber datos sobre el MTBF y la cantidad de fallas por año requiere también los siguientes parámetros:

- Equipo usado o nuevo
- El nivel de carga respecto a su capacidad nominal
- La cantidad de arranque/paros por día

- Horas de servicio por día

Salidas:

- Valor de la criticidad
- Tipo de criticidad (alta, media o baja)

PLANTILLA DE CLASIFICACION VED

Esta plantilla clasifica los repuestos en V (vital para el equipo), E (esencial para el equipo) y D (deseable para el equipo). Requiere de cada ítem el equipo al cual pertenece para llamar el tipo de criticidad del equipo con el cual se calcula un valor para la clasificación. También requiere conocer la funcionalidad del repuesto para el equipo, es decir si es vital, esencial o deseable según la teoría sobre clasificación VED del marco teórico. Si el valor de la clasificación es mayor a 70 el ítem será V, si el valor es mayor a 55 el ítem será E y si el valor es menor o igual a 55 el ítem será D.

Parámetros:

- Tipo de criticidad del equipo al cual pertenece el repuesto
- Funcionalidad del repuesto para el equipo

Salidas:

- Clasificación VED de cada repuesto

Plantilla de clasificación ABC

Esta plantilla calcula la clasificación del repuesto en A, B o C de acuerdo al costo total anual del ítem y a los conceptos de clasificación ABC del marco teórico. Requiere las unidades anuales y el costo por unidad de cada repuesto para su funcionamiento.

Parámetros:

- Cantidad de cada repuesto comprado anual
- Costo unitario de cada repuesto

Salidas:

- Clasificación ABC de cada repuesto

PLANTILLA CLASIFICACION VED VS ABC

Esta plantilla combina las clasificaciones VED y ABC para calcular el nivel de servicio deseado para la política de inventarios según las dos clasificaciones, para que tenga en cuenta tanto la criticidad como el costo de los repuestos. Solo requiere el SDK del repuesto para llamar las clasificaciones de sus respectivas plantillas y obtener el nivel de servicio.

Parámetros:

- Clasificación VED
- Clasificación ABC

PLANTILLA CONTROL DE REPUESTOS OBSOLETOS

Esta plantilla funciona bajo los conceptos de RED TAG mencionados en el marco teórico. Resalta con rojo una cantidad de producto inspeccionada y clasificada como producto para cuarentena, y cuando llega la fecha de revisión, renueva la fecha de revisión o elimina esa cantidad en cuarentena ordenando una nueva cantidad del repuesto o nada según el criterio del usuario.

PLANTILLA POLITICA (S-1, S)

Esta plantilla define la política de inventario para un repuesto tanto en la bodega central como en cada uno de los depósitos del segundo escalón de la cadena de suministro. Bajo la teoría de la política (S-1, S). Calcula el inventario máximo S, el inventario de seguridad s y la cantidad a ordenar de acuerdo al inventario disponible y a los otros parámetros que requiere esta plantilla.

Parámetros:

- Lead time del proveedor del repuesto
- Desviación estándar del lead time del proveedor
- Ultimo periodo de revisión
- Periodo actual en el horizonte de planeación
- Tiempo de transporte entre la bodega central y los depósitos
- Desviación estándar del tiempo de transporte entre la bodega y los depósitos
- Tiempo de reparación en cada deposito
- Desviación estándar del tiempo de reparación
- Inventario disponible la bodega central y en cada deposito

- Costo de mantenimiento de inventario
- Costo de penalidad o sobre costo por tener una unidad mas por encima del inventario máximo

PLANTILLA POLITICA (s, S, R)

Esta plantilla define la política de inventario para un repuesto tanto en la bodega central como en cada uno de los depósitos del segundo escalón de la cadena de suministro. Bajo la teoría de la política (s, S, R). Calcula el inventario máximo S, el inventario de seguridad s y la cantidad a ordenar de acuerdo al inventario disponible y a los otros parámetros que requiere esta plantilla. Esta plantilla utiliza los mismos parámetros de la plantilla de Política (S-1, S).

PLANTILLA POLÍTICA PARAMETROS NECESARIOS

Esta plantilla solicita todos los parámetros utilizados en las plantillas de políticas (s, S, R) y (S-1, S). Al final da la opción al usuario de mostrarle cada una de las políticas y le solicita que elija una de las dos después de analizarlas, comprenderlas y compararlas.

6.2 MANUAL DE USO

Para que la herramienta funcione correctamente el usuario debe llevar una guía de uso, tener cierto análisis de los datos históricos a analizar y tener la siguiente información a la mano (Parámetros). Esto debe ser antes de que se haga uso de esta misma.

Nota: Los periodos a analizar y estudiados están en escala de tiempo de meses.

IMPORTANTE PARA LA FACILIDAD DE USO: Todas las plantillas poseen en la hoja de cálculo hipervínculos que las conectan con cierto número de plantillas que permiten un flujo de utilización de la herramienta según lo estipulado por la metodología en esta.

Figura 13. . Hipervínculo de la plantilla de inicio y la plantilla de demanda histórica de repuesto.

VOLVER INICIO	VOLVER HISTORICA REPUESTOS
INICIO!A1	Demanda historica repuestos!A1

Fuente: Plantilla, herramienta control de inventario de repuesto(Elaborada por el autor).

Hipervínculo de la plantilla de inicio y la plantilla de demanda histórica de repuesto. Estos 2 enlaces están en todas las plantillas.

Figura 14. Hipervínculo parámetros de criticidad.

CONTINUAR PASO 1	Parametros ABC!A1
CONTINUAR PASO 2	Parametros Criticidad y VED!A1
CONTINUAR PASO 3	CRITICIDAD!A1
VOLVER	Comparacion de metodos!A1

Fuente: Plantilla que se conecta con otras 3 plantillas para facilitar su uso, y permite devolverse al proceso que el usuario haya hecho anteriormente. Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Análisis de los datos previos a utilizar: Los modelos planteados en la herramienta asumen que los datos históricos que el usuario ingresa a esta cumplen el requerimiento de normalidad que estos requieren. Es decir el usuario ya debe haber comprobado que los datos que va a utilizar son normales por medio de una prueba de normalidad.

Las unidades de medidas que deben utilizar son las siguientes:

- Para periodos la unidad de medida utilizada son meses.
- Demanda de repuesto enteros positivos.

- Para tiempo de servicio, transporte, reparación etc. Son en días.

Parámetros necesarios que debe tener el usuario.

1. Datos históricos de demanda (Mínimo de periodos 30)
2. Nivel de inventario actual en mis bodegas.
3. Ultimo periodo de revisión.
4. Lead time del proveedor de cada repuesto con su respectiva desviación estándar.
5. Tiempo de transporte entre la bodega central y los depósitos j con su respectiva desviación estándar.
6. Tiempo de reparación en cada depósito con su respectiva desviación estándar.
7. Conocer la incidencia del repuesto cuando falla en la empresa.
8. Disponibilidad de equipos de remplazo si existen.
9. Costo unitario de cada repuesto.
10. Unidades compradas al año de ese repuesto.
11. Costo de mantener una unidad de repuesto en el inventario.
12. Costo de penalización por ordenar 1 unidad más arriba del inventario máximo que se debe tener.
13. Fecha de fabricación del repuesto y fecha de expiración de este.
14. Cantidad de inventario en la bodega de este repuesto.

GUIA GENERAL DE USO

Se debe seguir el mismo orden que se expone a continuación:

1. Plantilla de inicio

1.1. Debe ir primero a la plantilla de demanda histórica (Paso obligatorio antes de comenzar cualquier tipo de análisis).

1.2. La platilla de inicio servirá para conectarse con cualquier plantilla de la herramienta, y cada uno de las plantillas tiene conexión para volver al inicio cuando el usuario lo desee. El usuario puede ir a cualquier plantilla para conocer lo el modelo de cada uno. Ojo: Primero debe hacerse todos los pasos siguientes para poder ir conociendo el análisis que ofrece la herramienta.

Figura 15. Plantilla de inicio herramienta control de inventario de repuesto.

MANUAL		NOTA:
1 DATOS DE DEMANDA DE REPUESTOS	IR Demanda historica repuestos'IA1	<p>Para poder ingresar a todas las plantillas es recomendable ir a la plantilla 1 como primer paso (demanda de repuesto para ingresar los datos historicos a analizar).</p> <p>Primero ingrese a esta plantilla para que ingrese los datos historicos a analizar.</p>
2 COMPORTAMIENTO DE DEMANDA DEL REPUESTO	IR Comportamiento DR'IA1	
3 PRONOSTICO CROSTON	IR Pronostico Croston'IA1	
4 PRONOSTICO SINTETOS Y BOYLAN	IR Pronostico SYB'IA1	
5 PRONOSTICO ADAPTATIVO 2	IR MODELO ADAPTATIVO (2)'IA1	
6 PRONOSTICO BOOTSTRAPING	IR Bootstrapping repuestos'IA1	
7 PRONOSTICO SES	IR SES'IA1	
8 PRONOSTICO ADAPTATIVO 1	IR MODELO ADAPTATIVO 1'IA1	
9 COMPARACION DE METODOS	IR Comparacion de metodos'IA1	
10 CRITICIDAD DEL REPUESTO	IR CRITICIDAD'IA1	
11 CLASIFICACION VED	IR CLASIFICACION VED'IA1	
12 CLASIFICACION ABC	IR CLASIFICACION ABC'IA1	
13 CLASIFICACION ABC VS VED	IR CLASIFICACION VED vs ABC'IA1	
14 CONTROL DE OBSOLETOS	IR CONTROL DE OBSOLETOS'IA1	
15 PARAMETRIZACION DE POLITICAS	IR Parametrizacion de politicas'IA1	
16 POLITICA DE REVISION CONTINUA	IR Politica (S-1.S)'IA1	
17 POLITICA DE REVISION PERIODICA	IR Politica (s.S.R)'IA1	

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

2. Plantilla de demanda de datos históricos de repuesto

2.1. Ingrese el tamaño de los datos históricos que posea en términos de periodos (Meses).

2.2. Ingrese sus datos históricos con un número de periodos ya establecido con el tamaño de la muestra de datos.

2.3. Analice el comportamiento de su demanda histórica por medio del grafico de dispersión presentado.

2.4. Con base al análisis realizado por usted, ingrese el periodo con el que quiere empezar su análisis omitiendo los otros ya sea porque usted considera que no son aptos ese numero de periodos para realizar un buen uso de los métodos, disminuyendo la exactitud de los resultados.

2.5. Ingrese el número de periodos a utilizar a partir del que usted decidió que era el inicial para su análisis.

Importante: El tamaño de los datos a utilizar no puede sobrepasar al tamaño de todos los datos históricos, es decir si tengo una muestra de datos históricos de 36 periodos, decido eliminar u omitir 4 periodos, el máximo de periodos que puedo utilizar seria de 31 datos que son los

restante que posee el usuario como objeto del análisis. Por lo cual el número de datos que debe ingresar al parámetro será 31.

Matemáticamente sería tamaño de la muestra 36 menos numero de periodos omitidos menos uno para prevenir error en el calculo del pronostico de las plantillas. Ejemplo: $(36-4-1)= 31$.

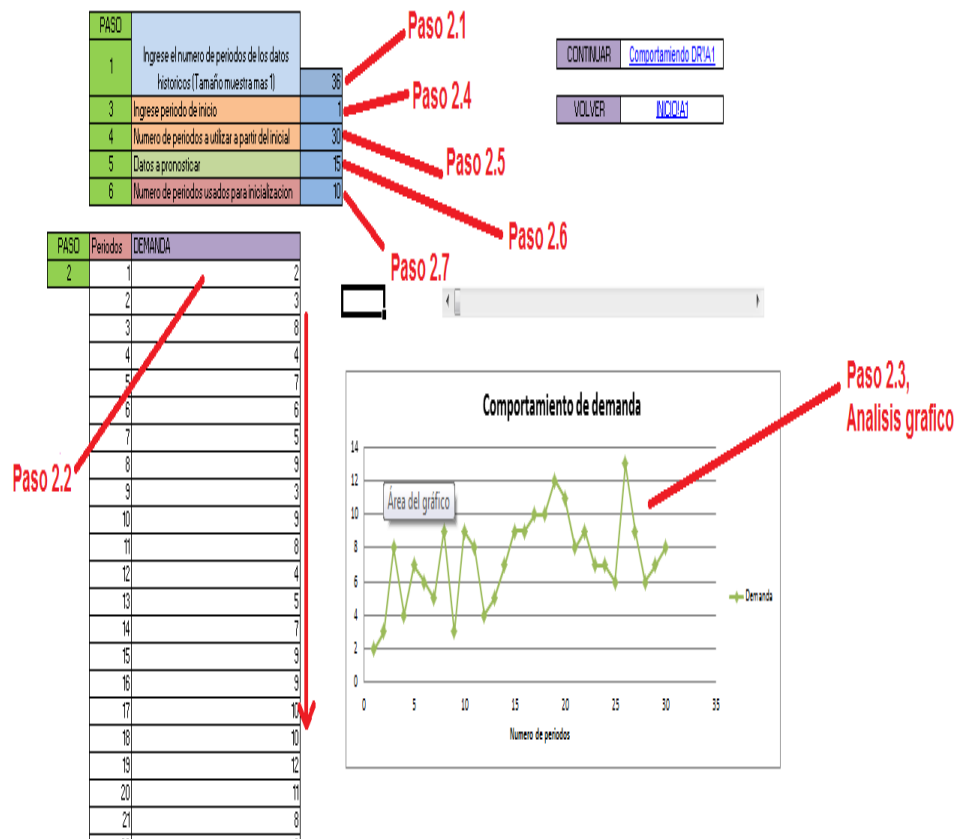
2.6. Ingrese el número de periodos a pronosticar según su preferencia.

2.7. Ingrese el número de periodos que tomara como datos de inicialización.

2.8. Una vez terminado su análisis, continúe y vaya a la plantilla de comportamiento de demanda por medio del hipervínculo.

Ver grafica relacione los siguientes puntos anteriores de la plantilla 2:

Figura 16. Plantilla de demanda de repuesto.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

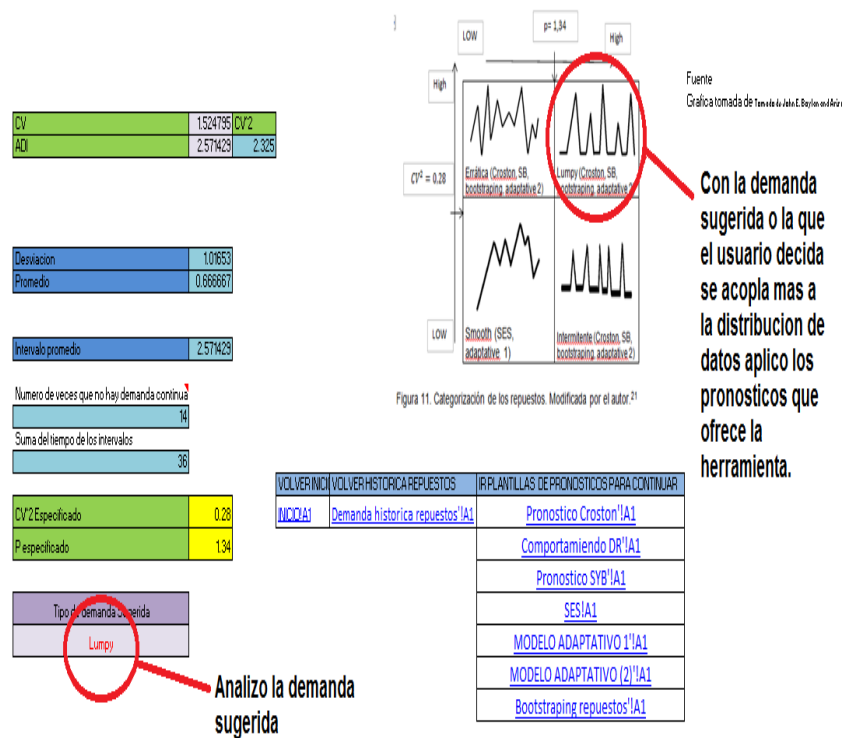
3. Comportamiento de demanda de repuesto.

3.1. Analice el coeficiente de variación resultante y el intervalo promedio de fallas entre repuestos.

3.2. Vaya a la celda de demanda sugerida y mire la opción que le propone la herramienta, después diríjase al cuadro de decisión para ubicar el tipo de demanda que usted considera es la adecuada para los datos, y analice cada uno de los pronósticos que el cuadro le propone son los adecuados para ese tipo de demanda elegida.

3.3. Cuando el usuario tome la decisión continúa a alguno de los modelos de pronósticos que ofrece la herramienta.

Figura 17. Plantilla de comportamiento de demanda del repuesto.

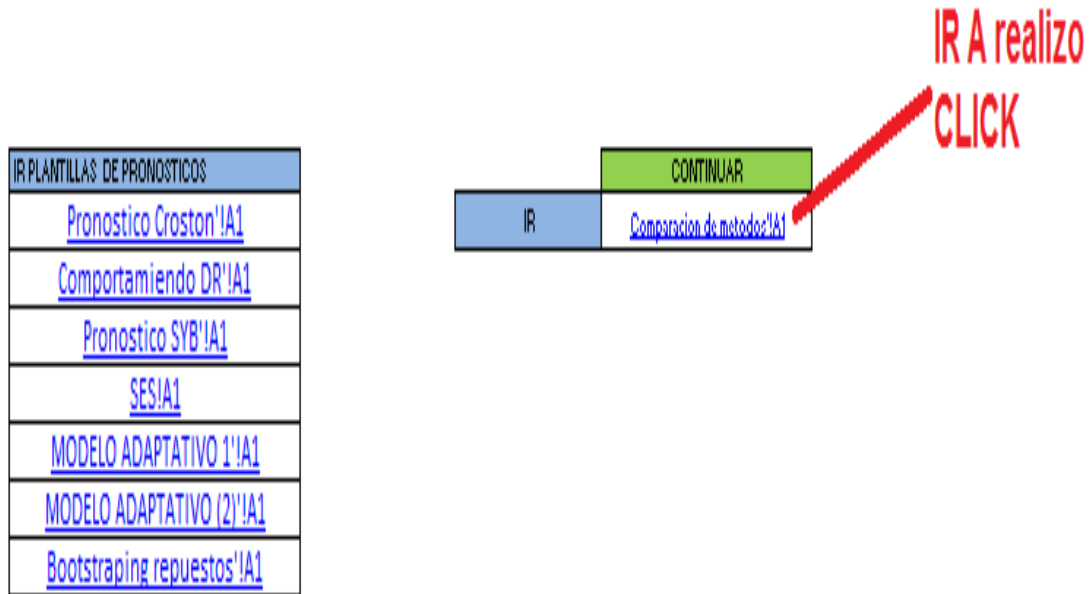


Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

4. Plantillas de Pronósticos

4.1. Ingrese los parámetros de suavización para los pronósticos y el parámetro de suavización para la señal de rastreo seguida de las desviaciones estándar en las que desea este el control de esta (por lo general siempre se recomienda que sea 3).

Figura 20. Hipervínculos de plantillas de pronósticos.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

5. Plantilla de comparación de modelos de pronóstico.
 - 5.1. Analice cada comparación de pares de pronósticos, según los indicados por el tipo de demanda elegido.
 - 5.2. La herramienta le sugiere un pronóstico como el mejor destacado decida si desea elegir ese pronóstico como referencia o si desea analizar los parámetros de control del pronóstico.
 - 5.3. Tome una decisión acerca del modelo de pronóstico a utilizar, según sus criterios.
 - 5.4. Seleccione la pestaña del pronóstico a elegir, como referencia.
 - 5.5. Continúe a la plantilla de clasificación ABC.

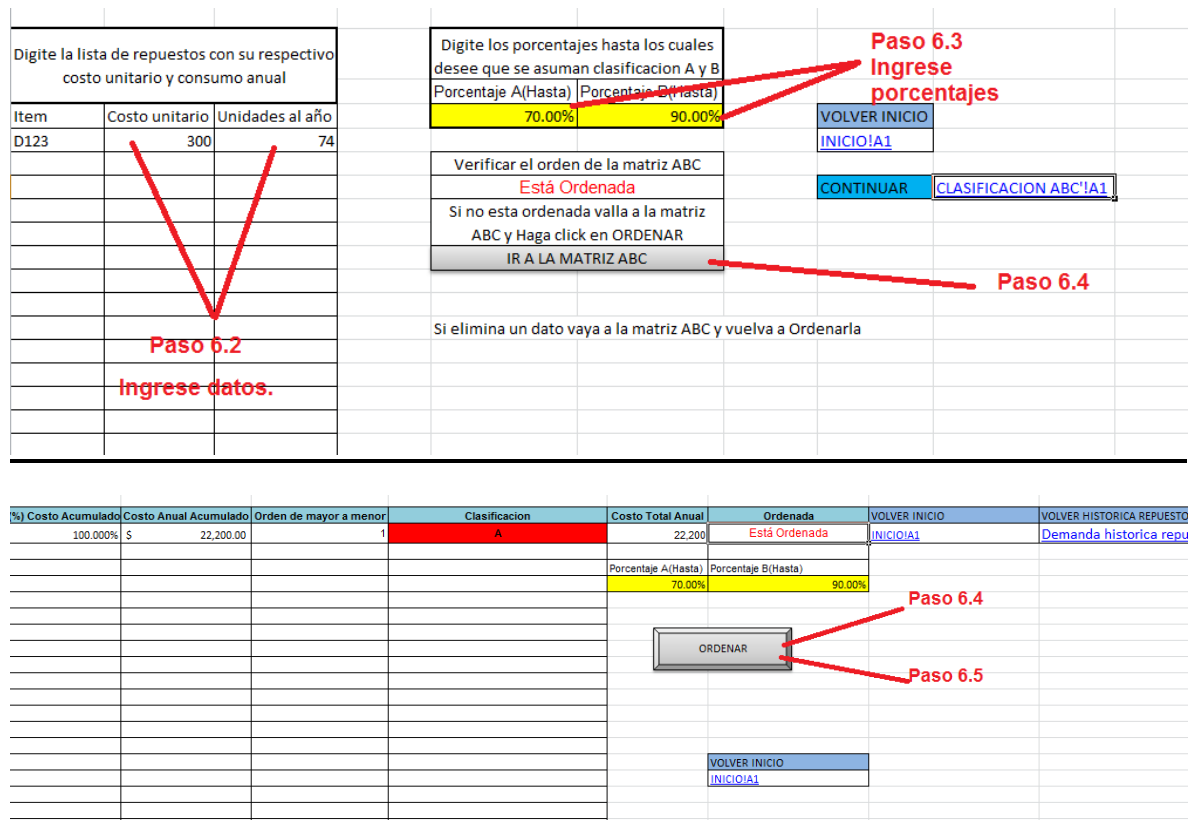
Ver grafica relacione los siguientes puntos anteriores del numeral 5:

6.4. Verifique que en la celda debajo de los porcentajes donde se indica, aparezca el texto en letra roja con un mensaje que dice: “Está Ordenada”. En ese caso haga click en el botón que dice “IR A LA MATRIZ ABC”, y podrá observar la clasificación ABC de cada ítem. Si el mensaje en rojo dice “Hay error en el Orden”, entonces haga click en en el botón “IR A LA MATRIZ ABC” y estando en la plantilla clasificación ABC haga click en el botón que dice “ORDENAR”. Después puede verificar la clasificación de todos los ítems.

6.5. Si desea borrar algún ítem, lo puede hacer pero debe ejecutar el botón ordenar nuevamente.

Ver grafica relacione los siguientes puntos anteriores del numeral 6:

Figura 22. Plantillas clasificación ABC y criticidad.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

7. Clasificar los repuestos bajo la teoría de criticidad de los equipos y clasificación VED, y obtención del nivel de servicio combinando las clasificaciones VED y ABC.

7.1. Estando en la plantilla de clasificación ABC vaya a la plantilla Parámetros Criticidad y VED.

7.2. Estando en la plantilla ingrese los datos solicitados. Algunas celdas donde se solicita información tienen una lista despegable para seleccionar un valor específico. Los primeros parámetros de este tipo son los de cuantificación del efecto y se debe seleccionar un valor de acuerdo a la tabla de cuantificación del efecto.

Tabla 9. Valor de acuerdo a la tabla de cuantificación del efecto.

Efecto	ALTO	BAJO	NULO
Sobre la producción	La falla provoca una pérdida importante dentro de un proceso	La falla provoca alguna pérdida dentro del proceso	La falla no provoca pérdidas productivas dentro del proceso
Sobre la seguridad y/o medio ambiente	La falla provoca un efecto grave de seguridad y/o al medio ambiente	La falla provoca un efecto leve de seguridad y/o al medio ambiente	La falla no provoca efecto de seguridad y/o al medio ambiente
Sobre los costos operativos	La falla genera un costo operativo mayor o igual a U\$S 5000	La falla genera un costo operativo menor a U\$S 5000	La falla no genera costos operativos

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

7.3. Se pregunta al usuario si hay un equipo de remplazo y finalmente se pide la vitalidad del repuesto para el equipo, lo cual se debe hacer de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 10. Tabla para seleccionar tipo de repuesto con base a la clasificación VED.

Valor a seleccionar	Definición
VITAL	Quiere decir que el repuesto es vital para el equipo, ósea que si faltase dicha parte el equipo no puede funcionar bajo ninguna condición ni circunstancia
ESENCIAL	Quiere decir que el repuesto es esencial para el equipo, ósea que si faltase disminuyen las condiciones de rendimiento y funcionamiento normales en una medida considerable
DESEABLE	Quiere decir que el repuesto es deseable para el equipo, ósea que si faltase afecta las condiciones de seguridad y/o medio ambiente, pero cumple su función principal en un rendimiento normal

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

7.4 En caso de no existir datos sobre las fallas del equipo, por alguna razón, se solicitan datos sobre el nivel de carga y el régimen diario del equipo, además de pedir también si el equipo es nuevo o usado. El nivel de carga se debe seleccionar de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 11. Tabla del nivel de carga del equipo.

Nivel de carga	Definición
Sobrecargado	El equipo opera por encima de su capacidad normal
Normal	El equipo opera a su capacidad nominal
Subcargado	El equipo opera por debajo de su capacidad nominal

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

7.5 Puede seleccionar uno de los botones que lo llevaran a la plantilla de criticidad para conocer su valor, a la plantilla de clasificación VED para observar que clasificación obtuvo el repuesto, o a la plantilla de clasificación VED vs ABC para observar cual fue el nivel de servicio obtenido. Utilice los hipervínculos para ir a estas respectivas plantillas.

Ver grafica relacione los siguientes puntos anteriores del numeral 7:

Figura 23. Plantilla clasificación VED.

Punto 7.2, ingrese la opción basado en la tabla de efectos presentada en este punto.

Punto 7.3 Utilice tabla de seleccion VED

Punto 7.4 Ingrese estos requerimientos

Las celdas tienen pestañas para elegir la opción.

Cuantificación del Efecto.
 Clasificar el efecto en la producción fundamental de la criticidad. Para ello se asigna los siguiente pesos relativos entre las variables de efecto: 45% para PROD, 45% para MAS, y 10% para COP

EFECTO	ALTO		BAJO		NAO	
	Definición	Valor	Definición	Valor	Definición	Valor
PROD	La falla provoca una pérdida importante dentro de un proceso	45	La falla provoca alguna pérdida dentro del proceso	23	La falla no provoca pérdidas producidas dentro del proceso	0
MAS	La falla provoca un efecto grave de seguridad y/o al medio ambiente	45	La falla provoca un efecto leve de seguridad y/o al medio ambiente	23	La falla no provoca efecto de seguridad y/o al medio ambiente	0
COP	La falla genera un costo operativo mayor a \$ US 5000	10	La falla genera un costo operativo menor a \$ US 5000	5	La falla no genera costo operativo	0

Tabla de selección VED

Valor a seleccionar	Definición
VITAL	Quiere decir que el repuesto es vital para el equipo, ósea que si faltase dicha parte el equipo no puede funcionar bajo ninguna condición ni circunstancia
ESENCIAL	Quiere decir que el repuesto es esencial para el equipo, ósea que si faltase disminuyen las condiciones de rendimiento y funcionamiento normales en una medida considerable
DESEABLE	Quiere decir que el repuesto es deseable para el equipo, ósea que si faltase afecta las condiciones de seguridad y/o medio ambiente, pero cumple su función principal en un rendimiento normal

Tabla de selección VED vs ABC

NIVEL de CARGA REGIMEN	SOBRECARGADO: Equipo opera por encima de su capacidad nominal	NORMAL: Equipo opera a su capacidad nominal	SUBCARGADO: Equipo opera por debajo de su capacidad nominal
CONTINUO: Equipo en servicio 24 hs al día Con arranque > 24 hs	ALTA	ALTA	MEDIA
PARCIAL: Es en servicio mas de 12 horas Con 1 o 2 arranque al día	ALTA	ALTA	MEDIA

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Nota importante:

Antes de continuar a la plantilla de control de obsoletos, se debe verificar en la plantilla de clasificación VED vs ABC los resultados del análisis de los datos, y posteriormente si continuar a la plantilla del control de obsoletos.

Figura 24. Plantilla clasificación VED vs ABC.

ITEM	CLASIFICACION ABC	CLASIFICACION VED	NIVEL DE SERVICIO
D123	A	V	90%

TABLA DE CLASIFICACION COMBINADA		
ABC	VED	NIVEL DE SERVICIO
A	V	90%
A	E	80%
A	D	70%
B	V	95%
B	E	85%
B	D	75%
C	V	99%
C	E	90%
C	D	80%

VOLVER INICIO	VOLVER HISTORICA REPUESTOS
INICIO!A1	Demanda historica repuestos!A1

CONTINUAR	CONTROL DE OBSOLETOS!A1
VOLVER A	CLASIFICACION ABC!A1
VOLVER A	CLASIFICACION VED!A1
VOLVER A	CRITICIDAD!A1

Analizar por parte del usuario

Analice el nivel de servicio segun los resultados obtenidos.

analizar los resultados continuar a la siguiente plantilla

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

8. Controlar el inventario obsoleto

8.1. Vaya a la plantilla de Control de obsoletos.

8.2. Estando en la plantilla ingrese los parámetros solicitados.

8.3. Verifique la cantidad que debe ir a cuarentena, la cantidad que se debe liquidar, la cantidad que se debe ordenar y el nuevo inventario disponible total para cada bodega.

8.4. Vuelva a la plantilla de inicio o prosiga con el siguiente proceso de ir a la plantilla de parametrización de políticas de inventario.

Ver grafica relacione los siguientes puntos anteriores del numeral 8:

Figura 25. Plantilla control de obsoletos.

Ciclo de vida												
item	Fecha de fabricación	Fecha de expiración mas próxima	total disponible en normalidad	cantidad de repuestos con fecha de expiracion mas próxima	Total disponible en cuarentena en la bodega	Fecha de revision de los que estaban en cuarentena	fecha de inspección	cantidad a cuarentena	fecha de revisión de los que van a cuarentena	cantidad de obsoletos a liquidar	cantidad de nuevo producto a ordenar	Nuevo Inventario total disponible
Warehouse	11-ene-10	11-dic-12			2	12-nov-12	11-ago-12	0	20-sep-12	0	0	2
deposito 1	12-ene-10	12-dic-12			3	13-nov-12	12-ago-12	0	21-sep-12	0	0	3
deposito 2	13-ene-10	13-dic-12				14-nov-12	13-ago-12	0	22-sep-12	0	0	
deposito 3	14-ene-10	14-dic-12				15-nov-12	14-ago-12	0	23-sep-12	0	0	

Observacion: Debe analizar al menos un deposito con la bodega central.

Ingrese los datos requeridos por columna.

Continuar.

Paso 8.3 verificar resultados.

VOLVER INICIO

CONTINUAR

VOLVER A

Parametrizacion de politicas'IA'

CLASIFICACIÓN VED vs ABC'IA1

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

9. Obtener las políticas de inventarios, el nivel de inventario esperado y el nivel de faltantes esperados, comparar las políticas y elegir una de las dos políticas para el repuesto analizado.

9.1. Vaya a la plantilla de Parametrizacion de Políticas.

9.2. Estando en la plantilla ingrese la información solicitada.

NOTA: Si el depósito requiere una orden por que necesita venderla a un cliente el tiempo de reparación seria cero por que no se necesita para reposición dentro de este.

9.3. Antes de seleccionar una de las dos políticas, verifique el cálculo de ambas políticas dando click en los botones al lado de las celdas donde se piden los parámetros.

9.4. Luego de analizar y comparar ambas políticas decida cuál será la que utilizará.

9.5. Finalmente vaya a la política por la cual se decidió y concluya respecto a los resultados o vuelva a la plantilla de inicio para analizar otro repuesto.

Ver grafica siguiente relacione los siguientes puntos anteriores del numeral 9:

Figura 26. Plantilla parámetros de política.

Lead time del proveedor	3
Desviación estandar del lead time:	0.012
Ultimo periodo de revision:	2
Periodo actual:	4

	Deposito 1	Deposito 2	Deposito 3
Tiempo de transporte entre el almacen central y el deposito:	1	0	0
Desviación estandar:	0.001	0	0
Tiempo de reparacion en el deposito:	2	0	0
Desviacion estandar:	0.02	0	0

Warehouse	
Inventario disponible:	2
Costo de mantener:	50
Costo de penalizacion:	500

	Deposito 1	Deposito 2	Deposito 3
Inventario disponible:	3	0	0
Costo de mantener:	40	0	0
Costo de penalizacion:	300	0	0

Selección de la política de revisión	
seleccione una	Periódica

Tipo de revision	
Continua	Periódica
Política (S-1,S)	Política (s,S,R)

VOLVER A LA ANTERIOR	CONTROL DE OBSOLETOS IA1
IR A	Política (s,S,R) IA1
IR A	Política (S-1,S) IA1

VOLVER INICIO	VOLVER HISTORICA REPUESTOS
INICIO IA1	Demanda historica repuestos IA1

IR A	Política (S-1,S) IA1
IR A	Parametrizacion de politicas IA1

Item	DATOS PARAMETROS DE LA POLITICA DE INVENTARIO			
	Warehouse	Deposito 1	Deposito 2	Deposito 3
Inventario disponible	2	3	0	0
Cantidad a Ordenar	0	0	#I DIV/0I	#I DIV/0I
Inventario de seguridad s	0	0	0	0
Inventario maximo S	25	25	#I DIV/0I	#I DIV/0I
Tiempo de revision R	4.166666667	4.166666667	#I DIV/0I	#I DIV/0I
Ultimo periodo de revision	2	2	2	2
Periodo actual	4	4	4	4
Demanda λ	6	6	0	0
lead time t	3	3	0	0
Costo de mantener una unidad en inventario	50	40	0	0
Costo de penalidad L	500	300	0	0
α	1.712505223	1.58288532	#I DIV/0I	#I DIV/0I
Nivel de servicio	90%	90%	90%	90%
Desviacion del lead time	0.012	0.021	0	0
Valor de Z para el lead time	1.281551566	1.281551566	1.281551566	1.281551566

Paso 9.2 ingrese todos los parametros que se requiere generalmente como para los depositos(No ingrese el parametro de inventario disponible ya es calculado).

Paso 9.3 Analisis de politicas Haga click aqui.

Paso 9.4 analisis resultados importantes como cantidad a ordenar y demas.

Paso 9.5 El usuario decide que política utilizar para ordenar y controlar su inventario, con base a los resultados obtenidos en ambas.

Click para analizar la otra politica plantiada.

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor)

Al finalizar vaya al hipervínculo de la plantilla de INICIO para empezar un nuevo análisis.

6.3 ANALISIS ACADEMICO DE LA HERRAMIENTA

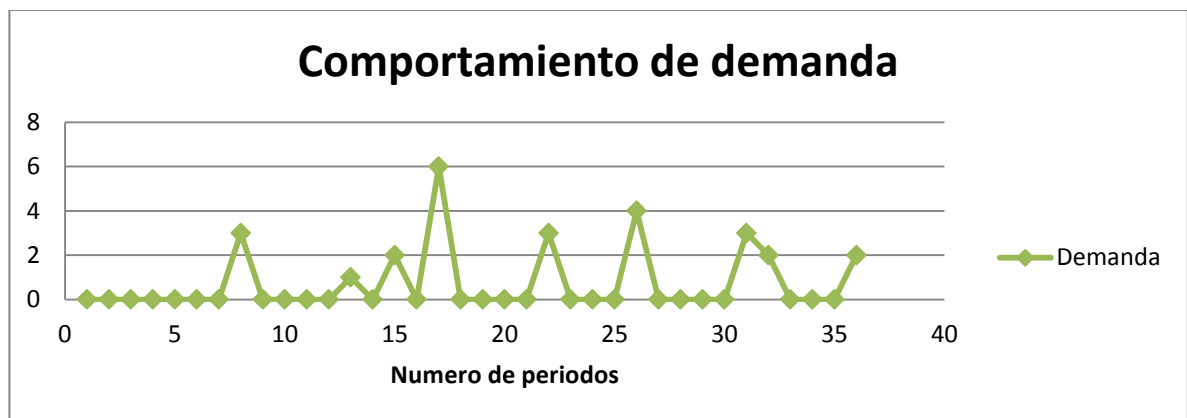
El siguiente análisis es una prueba académica para probar el correcto desempeño de la propuesta de herramienta planteada, se tendrá en cuenta para dicho análisis probar con demanda históricas de diferente tipo como lo plantea la herramienta respectivamente (Lumpy, Erratica, Intermitente, Suavizada). Para los comportamientos de demanda se ha tratado de representar y analizar datos históricos que se adecuan a todos los requerimientos de la herramienta en todas las plantillas de esta misma.

6.3.1 Prueba 1 (Demanda tipo Lumpy)

Para realizar esta prueba se tendrán en cuenta dos escenarios que se pueden presentar en los datos históricos que posea el usuario, las 2 muestras de datos posea un tamaño de periodos de 36 (meses).

Escenario Uno (Datos con irregularidad en los primeros periodos de la muestra)

Figura 27. Datos históricos muestra 1.

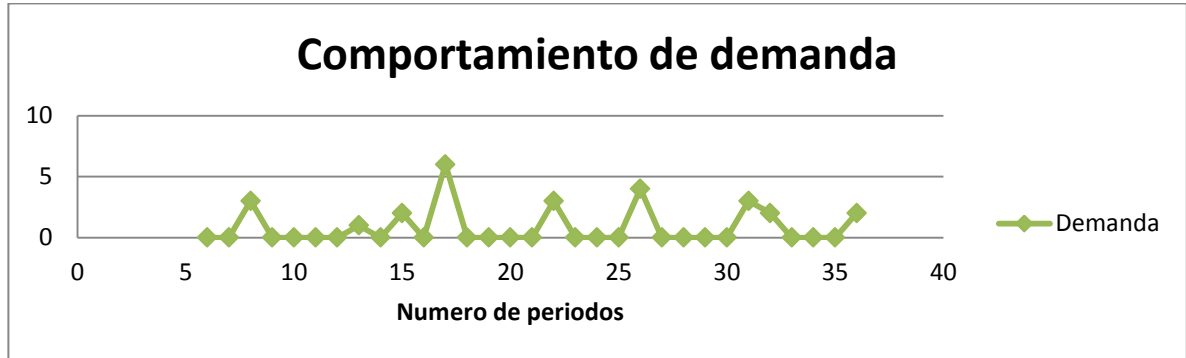


Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor)

Al ingresar los datos de demanda de prueba obtenemos la siguiente grafica para analizar, se puede ver que los primeros periodos cuentan con un comportamiento no regular con respecto a los otros datos subsiguientes, por lo cual se cumple con el primer escenario planteado por la prueba 1.

Posteriormente se accede a escoger los parámetros de inicialización, simulación y tamaño de periodos a pronosticar. En este caso se iniciara la serie de datos a partir del periodo 6 dando paso a realizar su respectivo análisis omitiendo los datos

anteriores a este periodo, se ingresa un valor de periodos a utilizar como datos de inicialización de 8 periodos, un tamaño de datos a utilizar a partir del periodo inicial 6 de 30 datos. Y por ultimo se pronosticaran 10 periodos.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Grafico con condiciones establecidas anteriormente.

En el siguiente paso según la plantilla de evaluación de comportamiento de demanda del repuesto, el tipo de demanda repuesto sugerido con base a su comportamiento es LUMPY. Se toma la sugerencia de la herramienta y se pasa a analizar los datos históricos en cada modelo de pronostico ofrecido para es tipo de demanda especifica.

Figura 28. Análisis demanda muestra 1.

CV	1.823796	CV2
ADI	1.636364	3.326233

Desviacion	1.523636
Promedio	0.83871

Intervalo promedio	1.636364
--------------------	----------

Numero de veces que no hay demanda continua

22

Suma del tiempo de los intervalos

36

CV2 Especificado	0.28
------------------	------

P especificado	1.34
----------------	------

Tipo de demanda Sugerida	Lumpy
--------------------------	-------

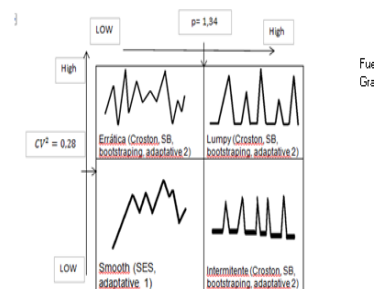


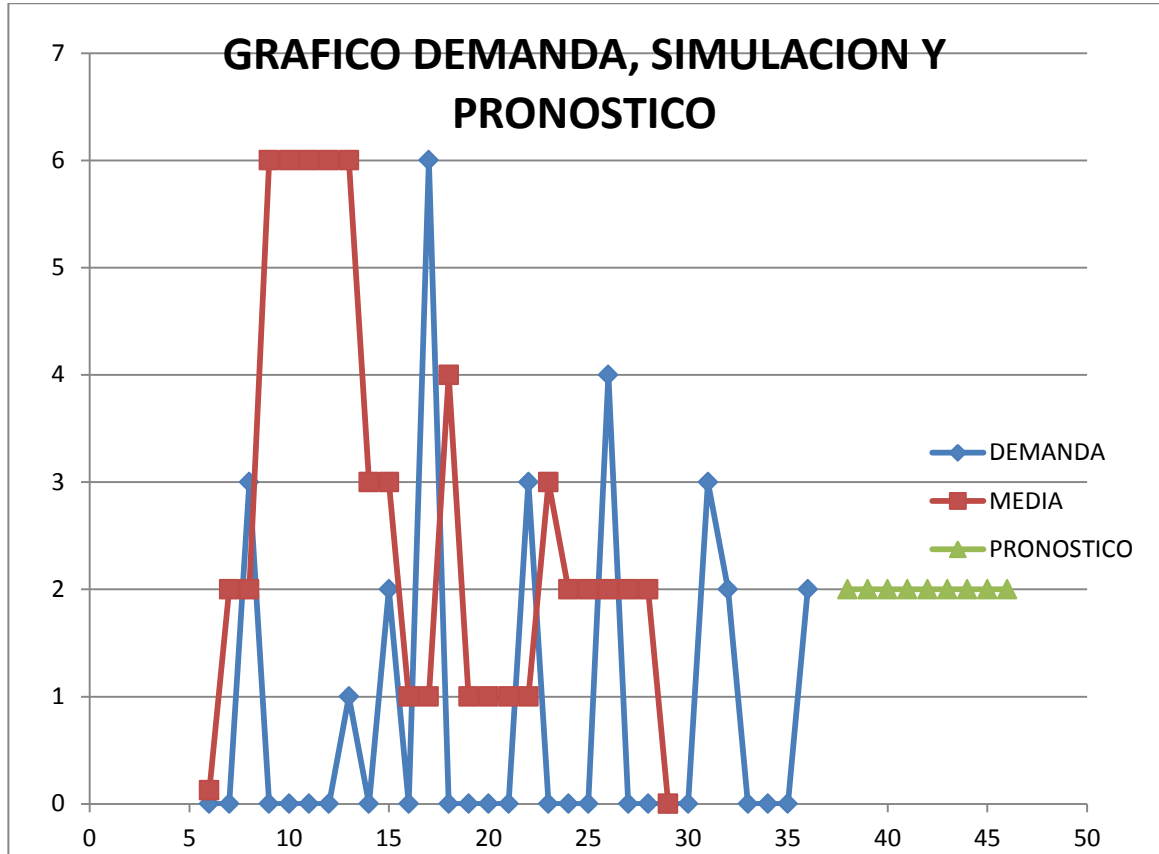
Figura 11. Categorización de los repuestos. Modificada por el autor.²¹

VOLVER INICIAR	VOLVER HISTORICA REPUESTOS	PLANTILLAS DE PRONOSTICOS PARA CONTINUAR
INICIA1	Demanda historica repuestos IA1	Pronostico Croston IA1
		Comportamiento DR IA1
		Pronostico SYB IA1
		SES IA1
		MODELO ADAPTATIVO 1 IA1
		MODELO ADAPTATIVO 2 IA1

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los resultados de cada modelo de pronóstico ofrecido son los siguientes:

Figura 29. Pronostico Croston Muestra 1.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El valor constante del pronóstico es de 2 unidades por periodo pronosticado que se estiman.

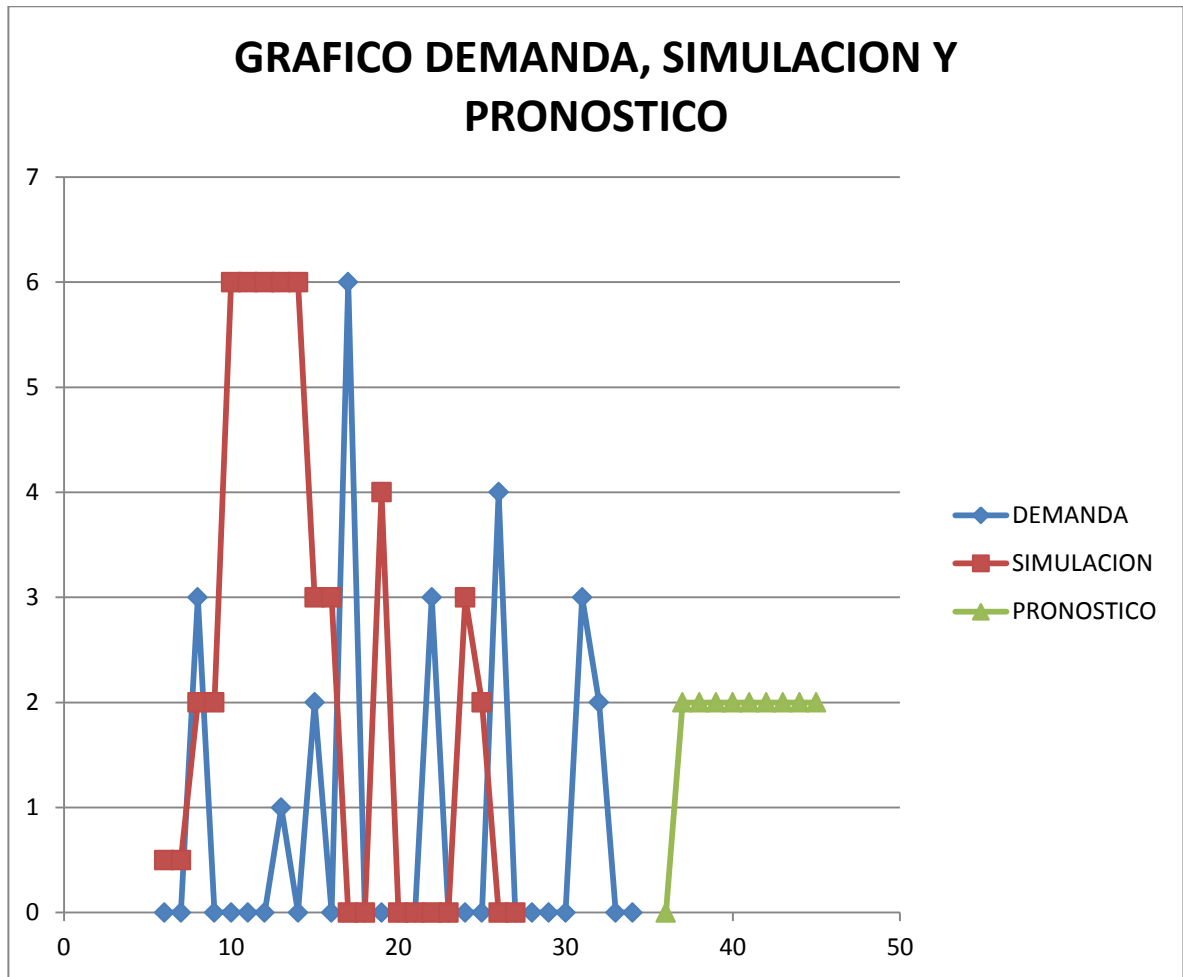
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 12. Parámetros de control pronostico croston muestra 1.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
CROSTON	1.56	6.9113	0.02431	38.11268132	1.8238	3.326	1.6364

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 31. Pronostico Adaptativo Muestra 1.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico adaptativo 2, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 2 unidades.

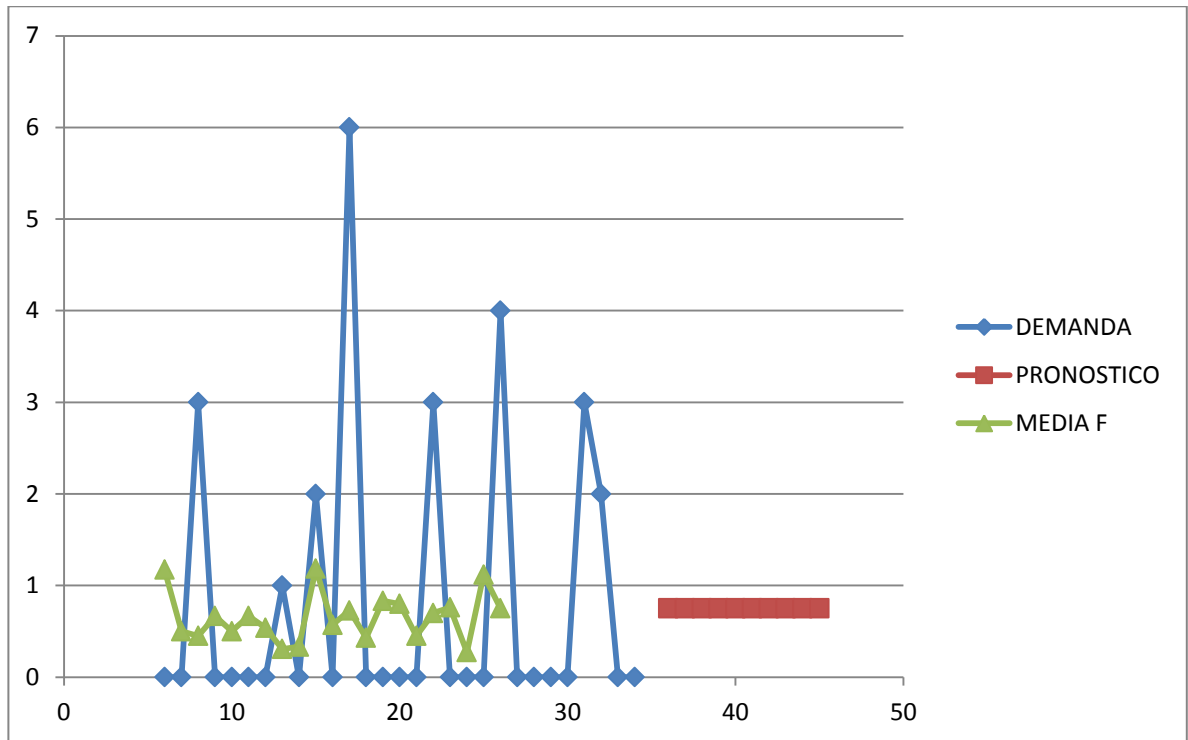
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 14. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 1.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
ADAPTATIVE 2	2.478	10.587	0.17402	55.79019791	1.885	3.553	1.7143

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 32. Pronostico Bootstraping Muestra 1.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico bootstraping, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

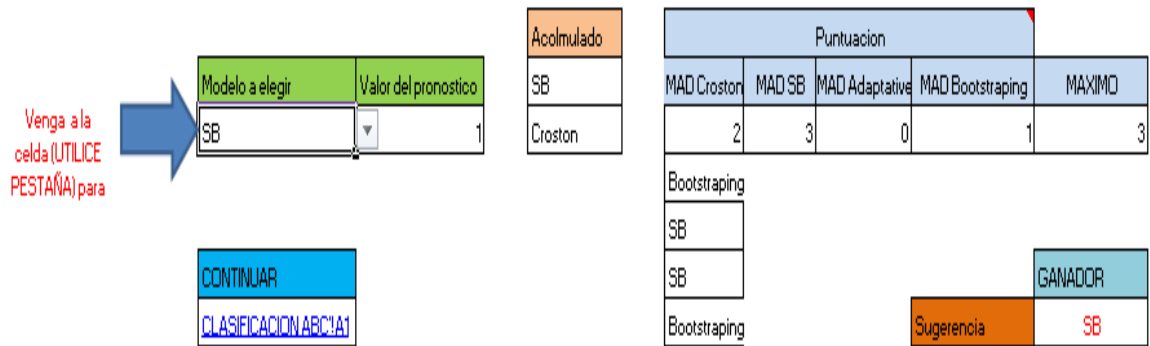
Tabla 15 Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 1.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
BOOTSTRAPING	1.144	1.6814	0.13566	9.465377037	1.885	3.553	1.7143

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior al análisis de los modelos de pronósticos planteados se pasa a observar la comparación de los métodos. En este caso se elije el modelo recomendado por la herramienta el Sintetos y Boylan.

Figura 33. . Elección pronostico Muestra 1.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El siguiente paso es ir a la plantilla de parámetros de la clasificación ABC, asumimos el costo de compra del repuesto de \$2000 unidad, y se tiene un promedio de unidades compradas del repuesto por año de 8 unidades. La clasificación dada para todo repuesto es de tipo A.

Nos dirigimos a la plantilla de parámetros de criticidad y ved. Digitamos que el repuesto pertenece al equipo Troqueladora, se estipula el nivel del efecto sobre la producción de la empresa como ALTO, la incidencia sobre los costos operativos sobre la producción se consideran como BAJOS, el efecto sobre la seguridad y el medio ambiente del equipo se consideran como BAJOS, se estipula que no hay equipos o maquinas que replacen a la Troqueladora, se clasifica la importancia del repuesto en el equipo como ESENCIAL, se estipula que el equipo ya es usado, se escoge el nivel de carga como SOBRECARGADO, y por ultimo se digita el numero de paradas del equipo o maquina por día (2 veces) y las horas en servicio por día (24 horas).

Figura 34. Clasificación VED Muestra 1.

Item:	D123
Equipo al que pertenece:	TROQUELADORA
Efecto sobre la producción si el equipo faltase:	alto
Efecto sobre los costos operativos si el equipo faltase:	bajo
Efecto sobre la seguridad y el medio ambiente si el equipo faltase:	bajo
Tiempo medio entre fallas:	2
Cantidad de fallas por año:	8
¿Existe un equipo de reemplazo?:	SI
Clasifique la Vitalidad del repuesto para el equipo:	ESENCIAL
En caso de no existir datos respecto a las fallas, Ingrese los siguientes datos	
¿El equipo es nuevo o usado?:	USADO
Nivel de carga:	SOBRECARGADO
Cantidad de Arranques/paros por día:	2
Horas en servicio por día:	24

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior a este paso vamos a la plantilla de criticidad, analizamos el valor arrojado de criticidad para el repuesto analizado como objeto de estudio, y nos da en este caso que la criticidad de este es BAJA.

Después vamos a la plantilla de clasificación y el resultado que nos arroja es que el repuesto tiene una clasificación tipo D (DESEABLE).

Para culminar la parte de las clasificaciones de los repuestos, vamos a la clasificación ABC VS VED, y obtenemos que el resultado para cada clasificación es A y D, y con base a eso nos arroja el nivel de servicio del producto que en este caso es del 70%.

Ahora vamos a la plantilla de control de obsoletos para introducir los parámetros de control de la política de obsoletos que tengamos, se estipula que las fechas de expiración del repuesto que es del 12 de diciembre de 2012, posterior a esto se indica que la fecha de la inspección es noviembre de 11 de 2012, se ingresa el valor de inventario disponible en la bodega central que es de 15, por lo las fechas anteriores no se liquida ningún repuesto ya que este no ha pasado su ciclo de vida. Por ultimo el valor de inventario disponible es de 15 unidades. Y en el depósito hay 0 unidades de este mismo repuesto.

Se pasa a la plantilla de parámetros de políticas, aquí se estipula que el lead time promedio del proveedor es de 4 días con una desviación estándar de 1 día, se

dice que no se sabe el ultimo periodo de revisión, y que vamos en el periodo 5 es decir el mes 5 del año. El tiempo de transporte de la bodega entre el deposito se estipula de 2 días con una desviación estándar de 0,5, y el tiempo de reparación de ese repuesto en el deposito es de 1 día con desviación estándar de 0,2.

Se ingresa el costo de mantener inventario de \$200 pesos/ unidad y el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$100 pesos/ unidad. Por ultimo selecciono la política de control de revisión periódica o continua.

REVISION PERIODICA

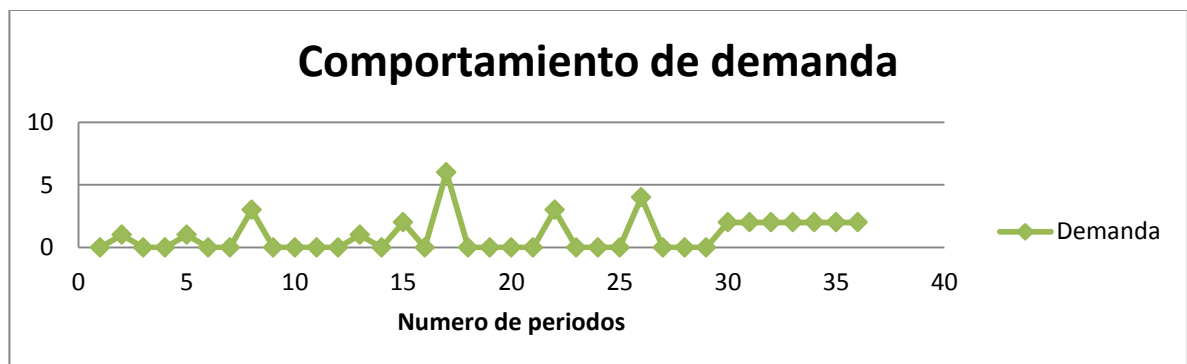
Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 4 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

REVISION CONTINUA

Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 4 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

Escenario Dos (Datos con irregularidad en los últimos periodos de la muestra)

Figura 35. Datos históricos muestra 2.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Al ingresar los datos de demanda de prueba obtenemos la siguiente grafica para analizar, se puede ver que los primeros periodos cuentan con un comportamiento no regular con respecto a los otros datos subsiguientes, por lo cual se cumple con el segundo escenario planteado por la prueba 1.

Posteriormente se accede a escoger los parámetros de inicialización, simulación y tamaño de periodos a pronosticar. En este caso se iniciara la serie de datos a partir del periodo 1, se ingresa un valor de periodos a utilizar como datos de inicialización de 10 periodos, un tamaño de datos a utilizar a partir del periodo inicial 1 de 29 datos dando paso a realizar su respectivo análisis omitiendo los datos posteriores a este periodo,. Y por ultimo se pronosticaran 12 periodos.

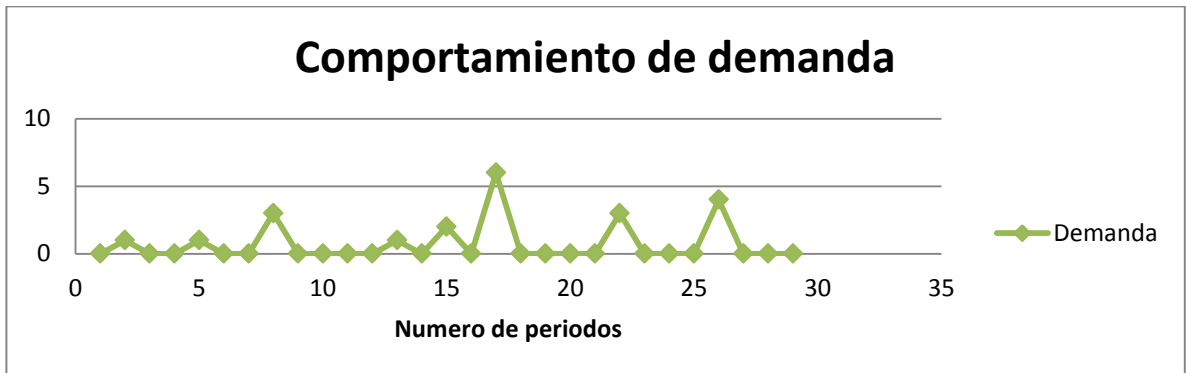
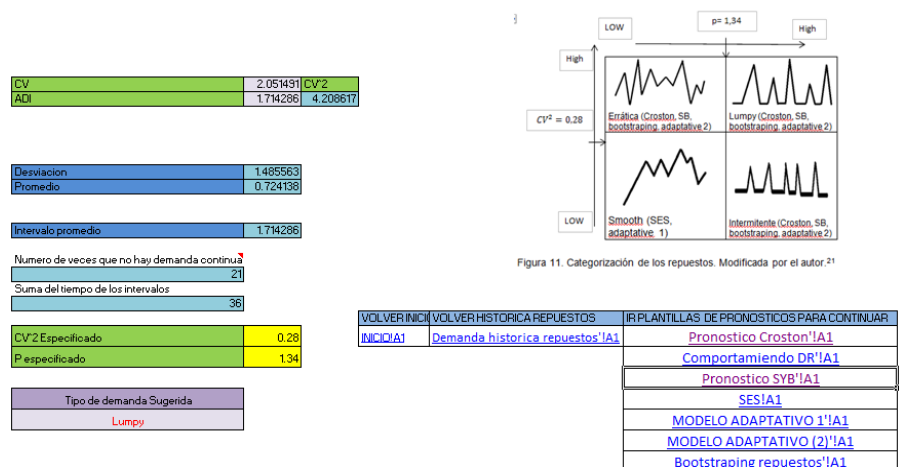


Grafico con condiciones establecidas anteriormente.

En el siguiente paso según la plantilla de evaluación de comportamiento de demanda del repuesto, el tipo de demanda repuesto sugerido con base a su comportamiento es LUMPY. Se toma la sugerencia de la herramienta y se pasa a analizar los datos históricos en cada modelo de pronostico ofrecido para es tipo de demanda especifica.

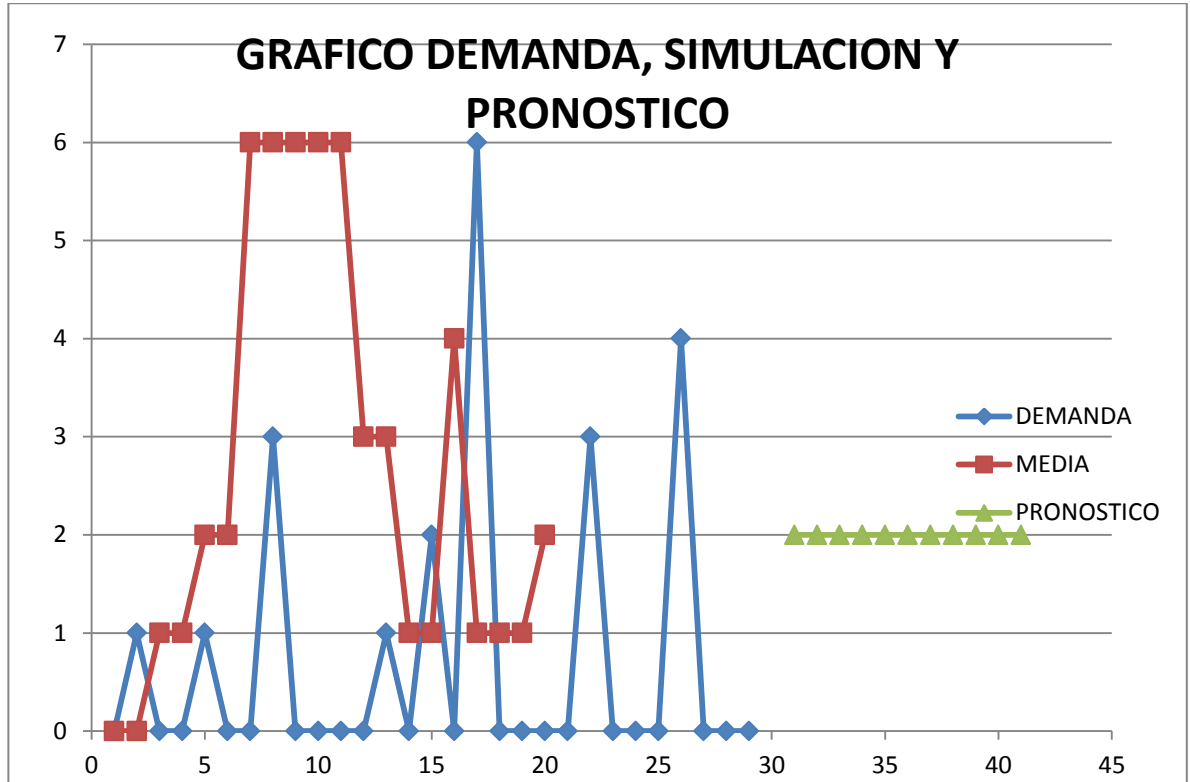
Figura 36. Análisis demanda muestra 2.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los resultados de cada modelo de pronóstico ofrecido son los siguientes:

Figura 37. Pronostico Croston Muestra 2.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El valor constante del pronóstico es de 2 unidades por periodo pronosticado que se estiman.

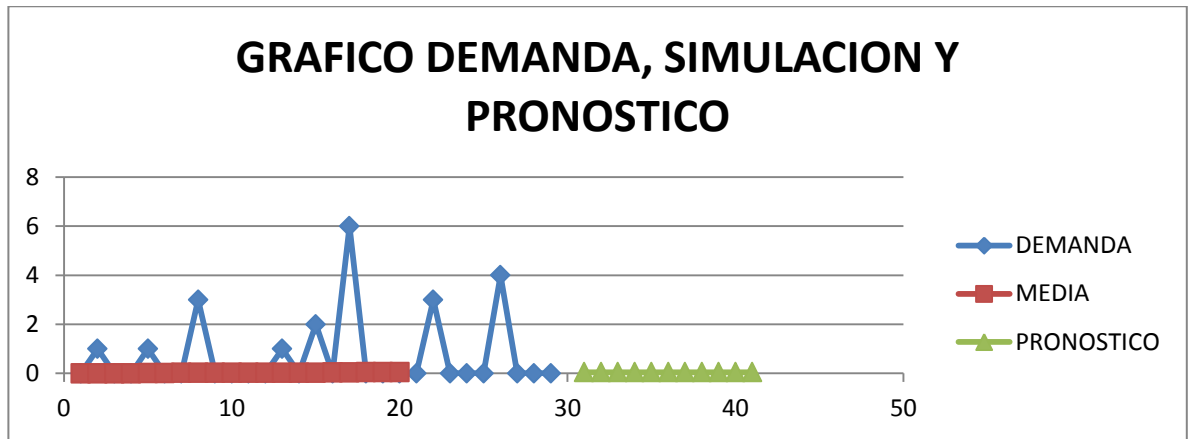
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 16. Parámetros de control pronostico croston muestra 2.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
CROSTON	1.455	7.2727	0	31.71160126	2.0515	4.20862	1.7143

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 38. Pronostico syntetos y boylan Muestra 2.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico SyB, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

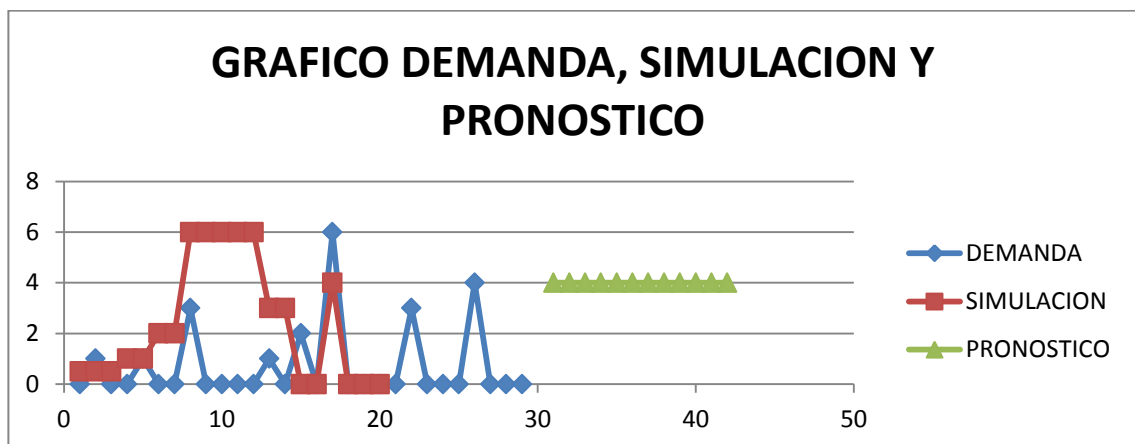
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 17. Parámetros de control pronostico syntetos y boylan muestra 2.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
SYB	0.951	3.2612	0.29403	19.62666017	2.0515	4.20862	1.7143

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 39. Pronostico adaptativo Muestra 2.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico adaptativo 2, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 4 unidades.

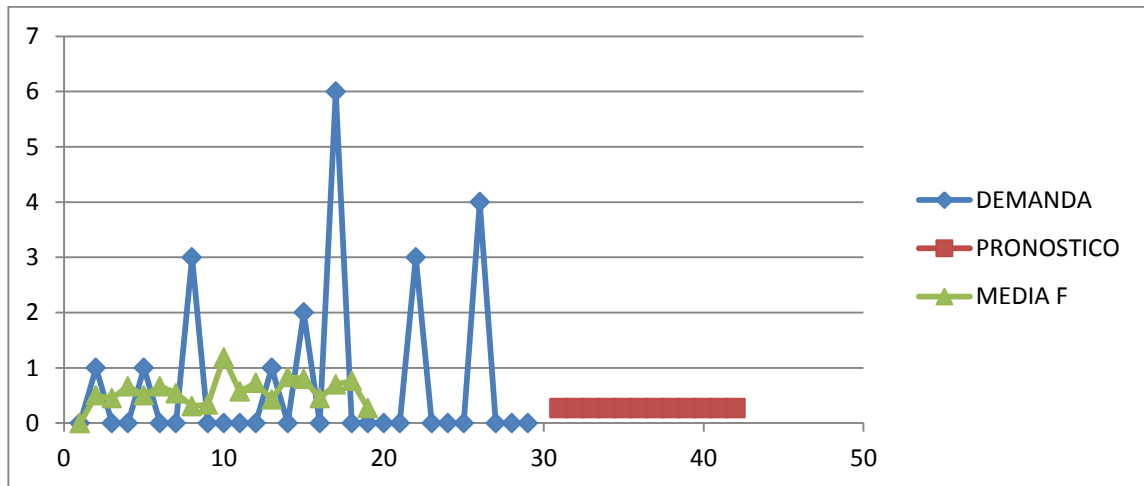
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 18. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 2.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
ADAPTATIVE 2	2.5	10.94	0.16667	51.78633332	2.0515	4.20862	1.7143

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 40. Pronostico bootstraping Muestra 2.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico bootstraping, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 19. Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 2.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
BOOTSTRAPING	1.194	1.7091	0.19896	9.563658043	2.0515	4.20862	1.7143

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior al análisis de los modelos de pronósticos planteados se pasa a observar la comparación de los métodos. En este caso se elije el modelo recomendado por

la herramienta el Sintetos y Boylan, o como en este caso que el usuario decidió por medio de los parámetros de control cual era el que mejor se ajustaba y prefería Bootstraping.

Figura 41. Elección pronostico Muestra 2.

Venga a la celda (UTILICE PESTAÑA) para



Modelo a elegir	Valor del pronostico
BOOTSTRAPING	1

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El siguiente paso es ir a la plantilla de parámetros de la clasificación ABC, asumimos el costo de compra del repuesto de \$1000 unidad, y se tiene un promedio de unidades compradas del repuesto por año de 7 unidades. La clasificación dada para todo repuesto es de tipo A.

Nos dirigimos a la plantilla de parámetros de criticidad y ved. Digitamos que el repuesto pertenece al equipo guillotina, se estipula el nivel del efecto sobre la producción de la empresa como BAJO, la incidencia sobre los costos operativos sobre la producción se consideran como BAJOS, el efecto sobre la seguridad y el medio ambiente del equipo se consideran como BAJOS, se estipula que no hay equipos o maquinas que remplacen a la guillotina, se clasifica la importancia del repuesto en el equipo como DESEABLE, se estipula que el equipo ya es usado, se escoge el nivel de carga como NORMAL, y por ultimo se digita el numero de paradas del equipo o maquina por día (0 veces) y las horas en servicio por día (18 horas).

Figura 42. Clasificación VED Muestra 2.

Item:	D123
Equipo al que pertenece:	GUILLOTINA
Efecto sobre la producción si el equipo	bajo
Efecto sobre los costos operativos si el equipo faltase:	bajo
Efecto sobre la seguridad y el medio ambiente si el equipo	bajo
Tiempo medio entre fallas:	2
Cantidad de fallas por año:	7
¿Existe un equipo de reemplazo?:	SI
Clasifique la Vitalidad del repuesto para el equipo:	DESEABLE
En caso de no existir datos respecto a las fallas, Ingrese los siguientes datos	
¿El equipo es nuevo o usado?:	USADO
Nivel de carga:	NORMAL
Cantidad de Arranques/paros por día:	0
Horas en servicio por día:	18

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior a este paso vamos a la plantilla de criticidad, analizamos el valor arrojado de criticidad para el repuesto analizado como objeto de estudio, y nos da en este caso que la criticidad de este es BAJA.

Después vamos a la plantilla de clasificación VED y el resultado que nos arroja es que el repuesto tiene una clasificación tipo D (DESEABLE).

Para culminar la parte de las clasificaciones de los repuestos, vamos a la clasificación ABC VS VED, y obtenemos que el resultado para cada clasificación es A y D, y con base a eso nos arroja el nivel de servicio del producto que en este caso es del 70%.

Ahora vamos a la plantilla de control de obsoletos para introducir los parámetros de control de la política de obsoletos que tengamos, se estipula que las fechas de expiración del repuesto que es del 10 de diciembre de 2012, posterior a esto se indica que la fecha de la inspección es diciembre 11 de 2012, se ingresa el valor de inventario disponible en la bodega central que es de 15, por lo las fechas anteriores se liquida el repuesto ya que este ha pasado su ciclo de vida. Por ultimo el valor de inventario disponible es de 0 unidades. Y en el depósito hay 0 unidades de este mismo repuesto.

Se pasa a la plantilla de parámetros de políticas, aquí se estipula que el lead time promedio del proveedor es de 1 días con una desviación estándar de 0,2 día, se dice que no se sabe el ultimo periodo de revisión, y que vamos en el periodo 1 es decir el mes 1 del año. El tiempo de transporte de la bodega entre el deposito se

estipula de 0,5 días con una desviación estándar de 0,03, y el tiempo de reparación de ese repuesto en el deposito es de 0 días con desviación estándar de 0.

Se ingresa el costo de mantener inventario de \$150 pesos/ unidad y el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$300 pesos/ unidad. Por ultimo selecciono la política de control de revisión periódica o continua.

REVISION PERIODICA

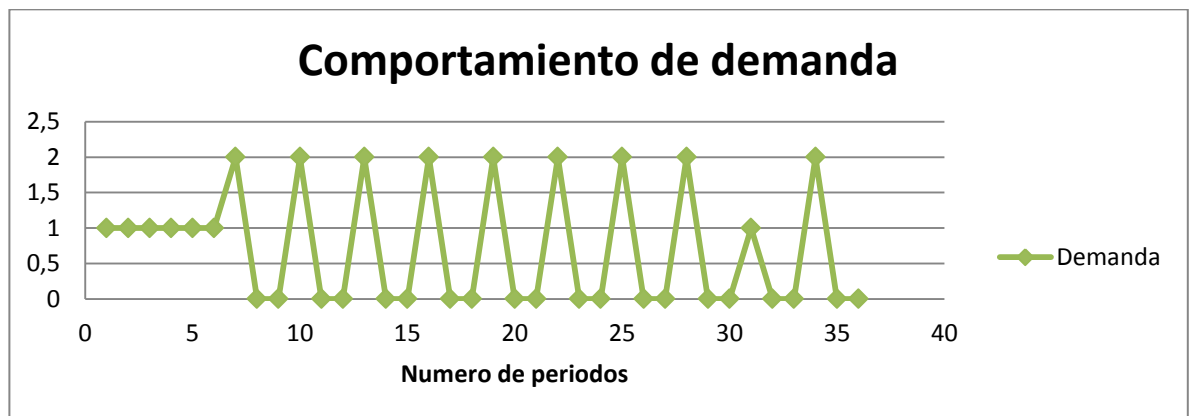
Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 1 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

REVISION CONTINUA

Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 1 unidades y en la bodega central es de 2 unidades a ordenar.

6.3.2 Prueba 2 (Demanda tipo Intermitente)

Figura 43. Datos históricos muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Al ingresar los datos de demanda de prueba obtenemos la siguiente grafica para analizar, se puede ver que los primeros periodos cuentan con un comportamiento no regular con respecto a los otros datos subsiguientes, por lo cual se cumple con el escenario planteado por la prueba 2.

Posteriormente se accede a escoger los parámetros de inicialización, simulación y tamaño de periodos a pronosticar. En este caso se iniciara la serie de datos a

partir del periodo 6 dando paso a realizar su respectivo análisis omitiendo los datos anteriores a este periodo, se ingresa un valor de periodos a utilizar como datos de inicialización de 5 periodos, un tamaño de datos a utilizar a partir del periodo inicial 6 de 20 datos. Y por ultimo se pronosticaran 8 periodos.

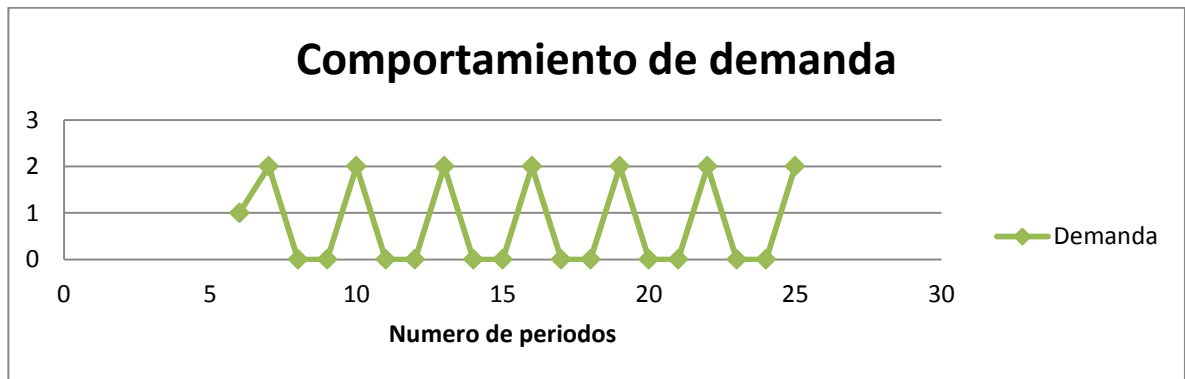


Grafico con condiciones establecidas anteriormente.

En el siguiente paso según la plantilla de evaluación de comportamiento de demanda del repuesto, el tipo de demanda repuesto sugerido con base a su comportamiento es LUMPY. No se toma la sugerencia de la herramienta y se pasa a analizar los datos históricos en cada modelo de pronostico ofrecido para es tipo de demanda especifica como demanda intermitente debido a que el grafico de tipo de demanda estándar se asemeja mas a la distribución que nosotros poseemos.

Figura 44. Análisis demanda muestra 3.

CV	1.288728	CV ²	0.28
ADI	1.666667	1.660819	
Desviacion	0.966546		
Promedio	0.75		
Intervalo promedio	1.666667		
Numero de veces que no hay demanda continua	12		
Suma del tiempo de los intervalos	20		
CV ² Especificado	0.28		
P especificado	1.34		
Tipo de demanda Sugerida	Lumpy		

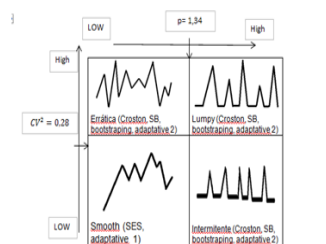


Figura 11. Categorización de los repuestos. Modificada por el autor.²¹

VOLVER INDIC	VOLVER HISTORICA REPUESTOS	IR PLANTILLAS DE PRONOSTICOS PARA CONTINUAR
INDICIA1	Demanda historica repuestos IA1	Pronostico Croston IA1
		Comportamiento DR IA1
		Pronostico SYB IA1
		SES IA1
		MODELO ADAPTATIVO 1 IA1

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los resultados de cada modelo de pronóstico ofrecido son los siguientes:

Figura 45. Pronostico Croston Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El valor constante del pronóstico es de 2 unidades por periodo pronosticado que se estiman.

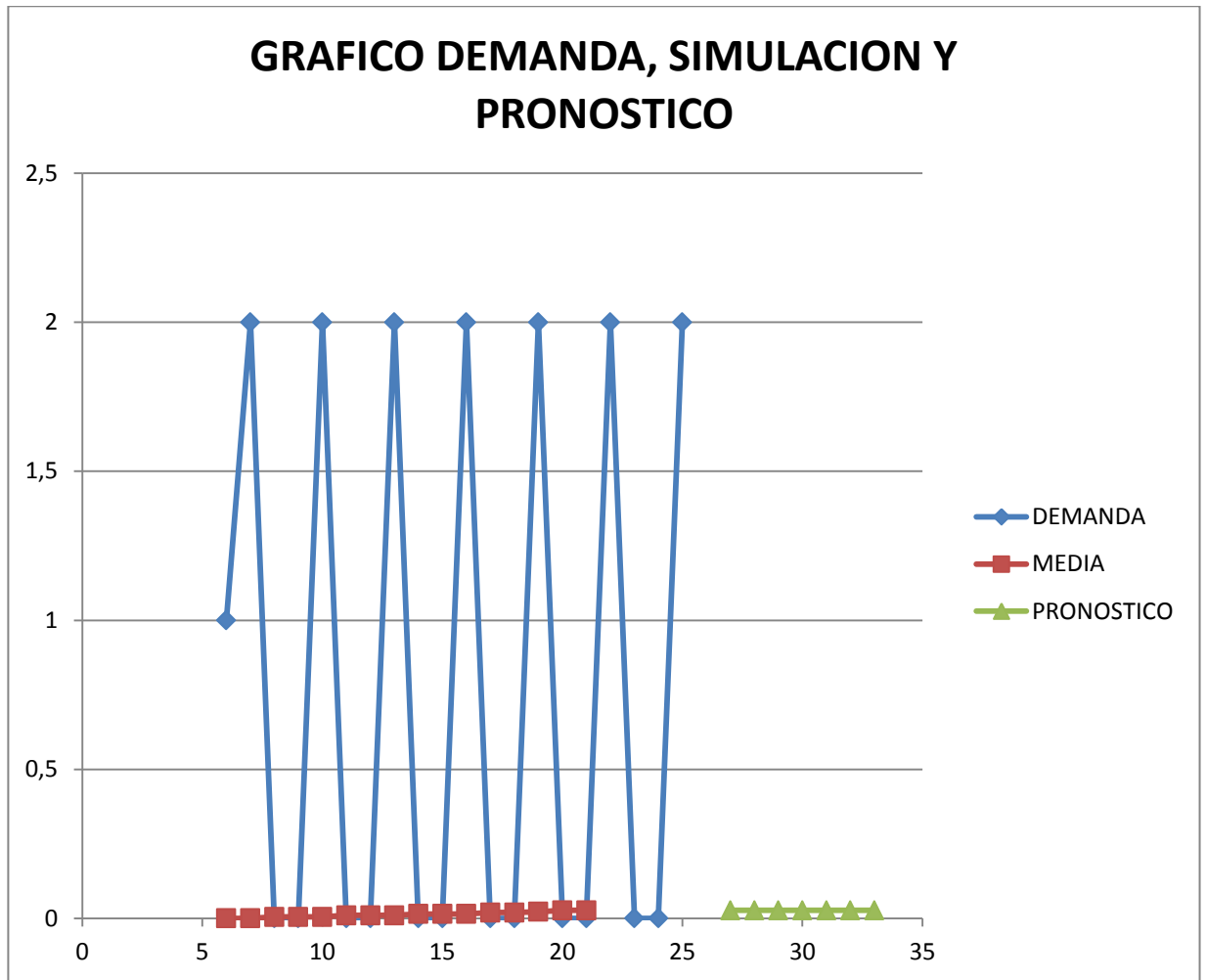
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 20. Parámetros de control pronostico croston muestra 3.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
CROSTON	0.889	1.7778	0	14.8215332	1.2887	1.66082	1.6667

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 46. Pronostico syntetos y boylan Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico SyB, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

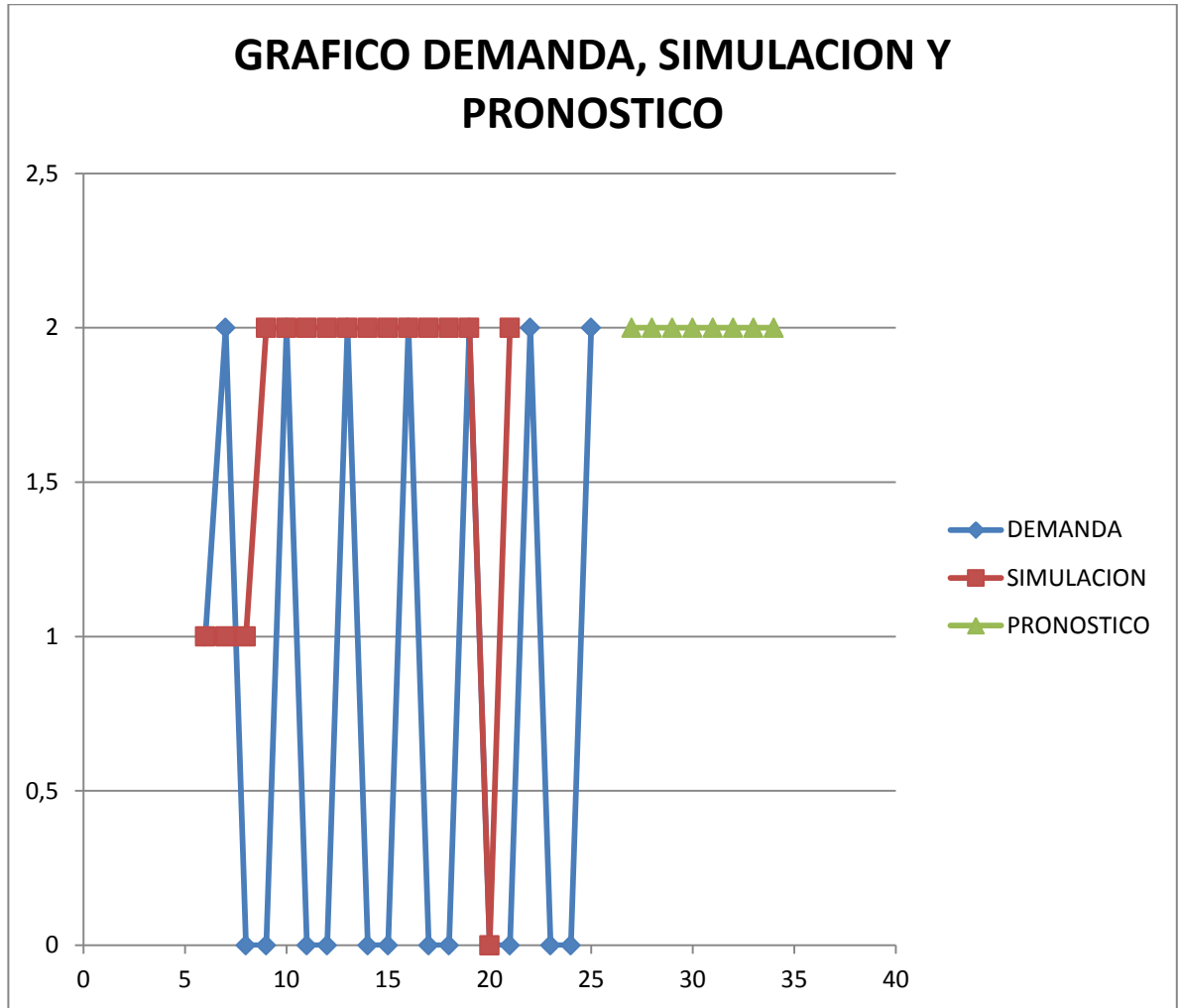
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 21. Parámetros de control pronostico syntetos y boylan muestra 3.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
SYB	0.612	1.1473	0.191590434	10.30629644	1.2887	1.66082	1.6667

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 47. Pronostico adaptativo Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico adaptativo 2, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 2 unidades.

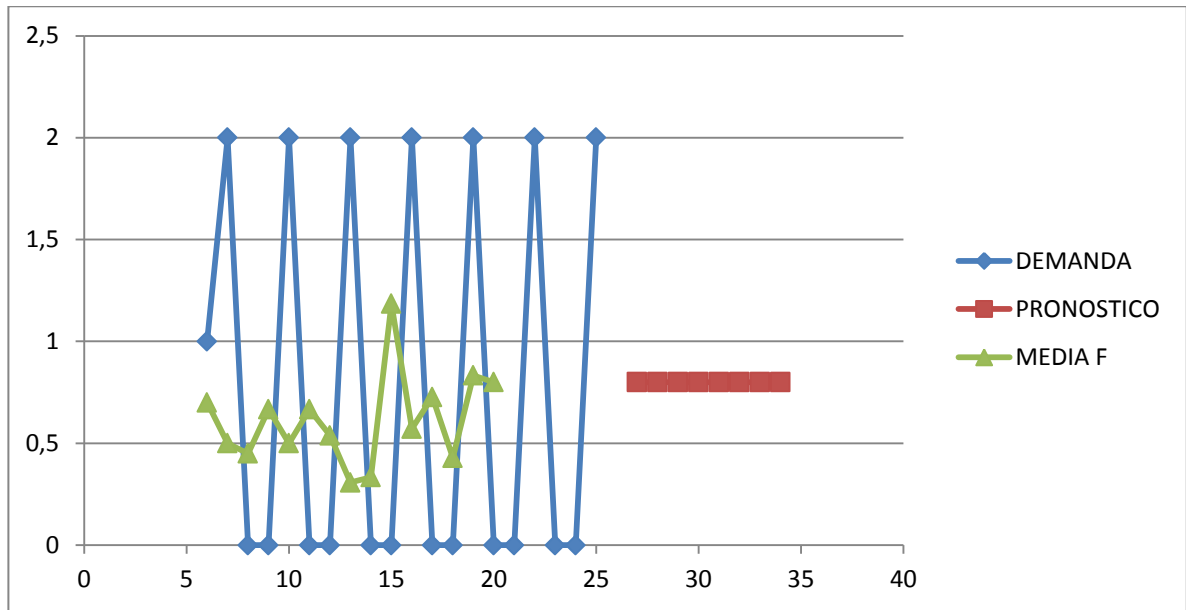
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 22. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 3.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
ADAPTATIVE 2	1.353	2.5294	0.06	22.0357132	1.2887	1.66082	1.6667

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 48. Pronostico bootstraping Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico bootstraping, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 23. Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 3.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
BOOTSTRAPING	0.816	0.911	0.130895031	3.029253697	1.2887	1.66082	1.6667

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior al análisis de los modelos de pronósticos planteados se pasa a observar la comparación de los métodos. En este caso se elije el modelo recomendado por la herramienta el Sintetos y Boylan, o como en este caso que el usuario decidió por medio de los parámetros de control cual era el que mejor se ajustaba y prefería Bootstraping.

Figura 49. Elección pronostico Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El siguiente paso es ir a la plantilla de parámetros de la clasificación ABC, asumimos el costo de compra del repuesto de \$50000 unidad, y se tiene un promedio de unidades compradas del repuesto por año de 5 unidades. La clasificación dada para todo repuesto es de tipo A.

Nos dirigimos a la plantilla de parámetros de criticidad y ved. Digitamos que el repuesto pertenece al equipo de refrigeración , se estipula el nivel del efecto sobre la producción de la empresa como ALTO, la incidencia sobre los costos operativos sobre la producción se consideran como ALTOS, el efecto sobre la seguridad y el medio ambiente del equipo se consideran como ALTOS, se estipula que no hay equipos o maquinas que remplacen al refrigerador, se clasifica la importancia del repuesto en el equipo como VITAL, se estipula que el equipo ya es usado, se escoge el nivel de carga como SOBRECARGADO, y por ultimo se digita el numero de paradas del equipo o maquina por día (1 veces) y las horas en servicio por día (24 horas).

Figura 50. Clasificación VED Muestra 1.

Item:	D123
Equipo al que pertenece:	Refrigerador
Efecto sobre la producción si el equipo	alto
Efecto sobre los costos operativos si el equipo faltase:	alto
Efecto sobre la seguridad y el medio ambiente si el equipo	alto
Tiempo medio entre fallas:	2
Cantidad de fallas por año:	5
¿Existe un equipo de reemplazo?:	NO
Clasifique la Vitalidad del repuesto para el equipo:	VITAL
En caso de no existir datos respecto a las fallas, Ingrese los siguientes datos	
¿El equipo es nuevo o usado?:	USADO
Nivel de carga:	SOBRECARGADO
Cantidad de Arranques/paros por día:	1
Horas en servicio por día:	24

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior a este paso vamos a la plantilla de criticidad, analizamos el valor arrojado de criticidad para el repuesto analizado como objeto de estudio, y nos da en este caso que la criticidad de este es ALTA.

Después vamos a la plantilla de clasificación VED y el resultado que nos arroja es que el repuesto tiene una clasificación tipo V (VITAL).

Para culminar la parte de las clasificaciones de los repuestos, vamos a la clasificación ABC VS VED, y obtenemos que el resultado para cada clasificación es A y D, y con base a eso nos arroja el nivel de servicio del producto que en este caso es del 90%.

Ahora vamos a la plantilla de control de obsoletos para introducir los parámetros de control de la política de obsoletos que tengamos, se estipula que las fechas de expiración del repuesto que es del 10 de diciembre de 2012, posterior a esto se indica que la fecha de la inspección es julio 7 de 2012, se ingresa el valor de inventario disponible en la bodega central que es de 8, por lo las fechas anteriores no se liquida el repuesto ya que este no ha pasado su ciclo de vida. Por ultimo el valor de inventario disponible es de 8 unidades. Y en el depósito hay 2 unidades de este mismo repuesto.

Se pasa a la plantilla de parámetros de políticas, aquí se estipula que el lead time promedio del proveedor es de 3 días con una desviación estándar de 0,012 días, se dice que se sabe el ultimo periodo de revisión (Periodo 2), y que vamos en el periodo 4 es decir el mes 4 del año. El tiempo de transporte de la bodega entre el deposito se estipula de 0,1 días con una desviación estándar de 0,001, y el tiempo de reparación de ese repuesto en el deposito es de 0 días con desviación estándar de 0.

Se ingresa el costo de mantener inventario como para la bodega central como para los depósitos que serian los mismos en este caso de \$250 pesos/ unidad y el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$700 pesos/ unidad. Por ultimo selecciono la política de control de revisión periódica o continua.

REVISION PERIODICA

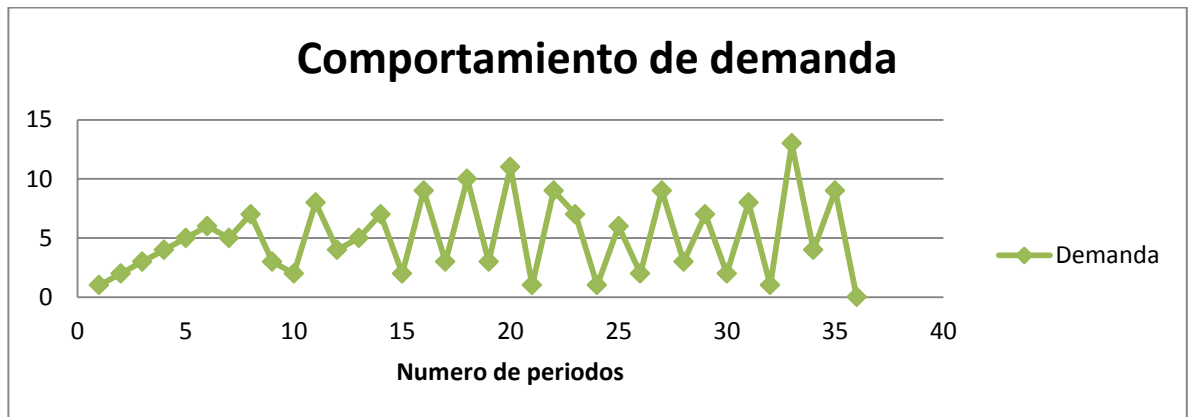
Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 0 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

REVISION CONTINUA

Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 0 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

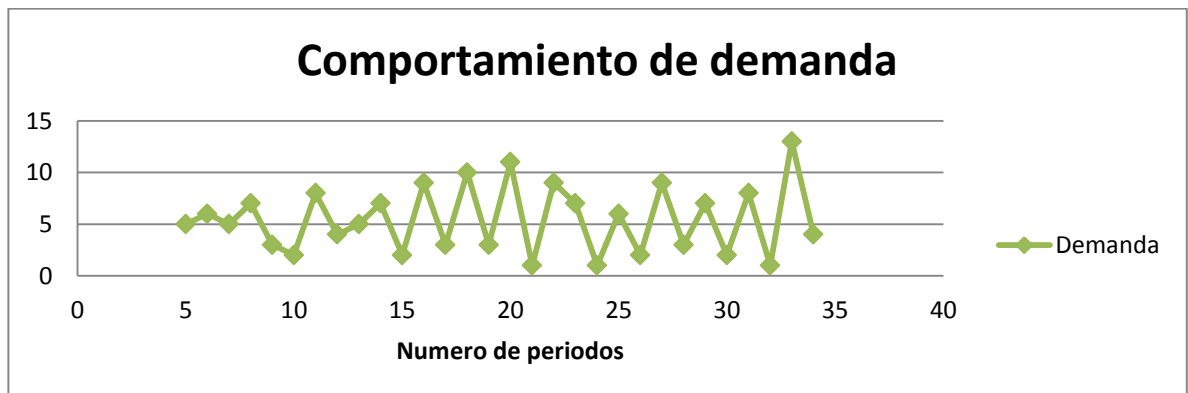
6.3.3 Prueba 3 (Demanda tipo Errática)

Figura 51. Datos históricos muestra 4.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Al ingresar los datos de demanda de prueba obtenemos la siguiente grafica para analizar, se puede ver que los primeros periodos cuentan con un comportamiento no regular con respecto a los otros datos subsiguientes, por lo cual se cumple con el escenario planteado por la prueba 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posteriormente se accede a escoger los parámetros de inicialización, simulación y tamaño de periodos a pronosticar. En este caso se iniciara la serie de datos a partir del periodo 5 dando paso a realizar su respectivo análisis omitiendo los datos anteriores a este periodo, se ingresa un valor de periodos a utilizar como datos de inicialización de 9 periodos, un tamaño de datos a utilizar a partir del periodo inicial 5 de 30 datos. Y por ultimo se pronosticaran 12 periodos.

Grafico con condiciones establecidas anteriormente.

En el siguiente paso según la plantilla de evaluación de comportamiento de demanda del repuesto, el tipo de demanda repuesto sugerido con base a su comportamiento es Errático. Se toma la sugerencia de la herramienta y se pasa a analizar los datos históricos en cada modelo de pronostico ofrecido para es tipo de demanda especifica como demanda errática debido a que el grafico de tipo de demanda estándar se asemeja mas a la distribución que nosotros poseemos.

Figura 52. Análisis demanda muestra 4.

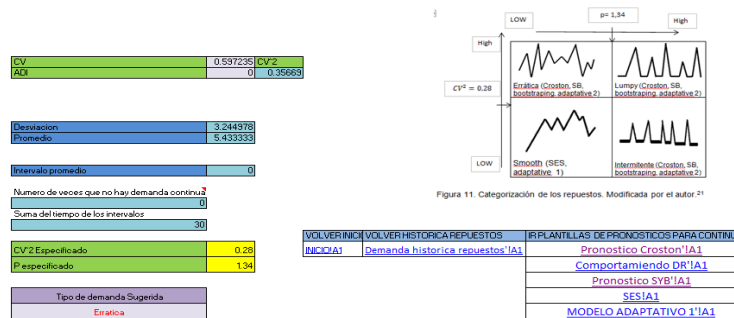
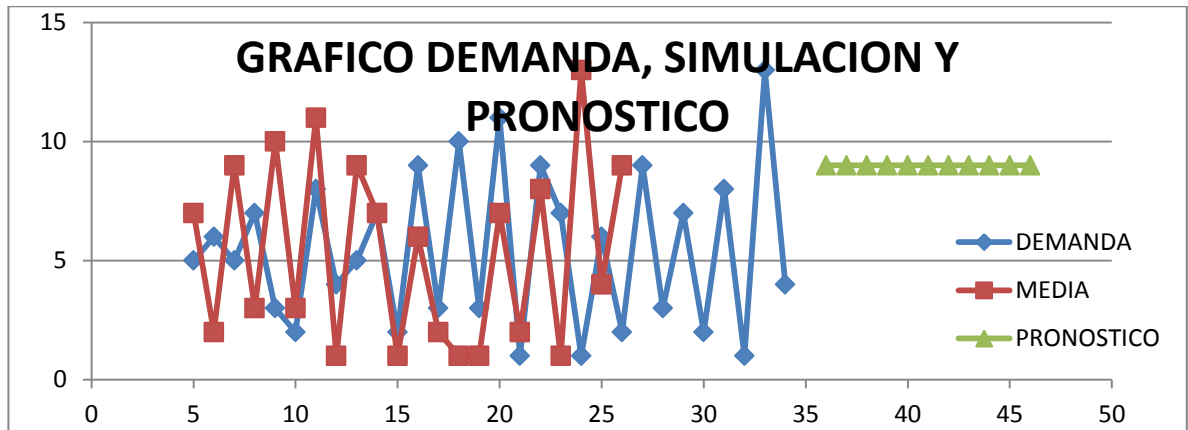


Figura 11. Categorización de los repuestos. Modificada por el autor.²¹

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los resultados de cada modelo de pronóstico ofrecido son los siguientes:

Figura 53. Pronostico Croston Muestra 4.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El valor constante del pronóstico es de 9 unidades por periodo pronosticado que se estiman.

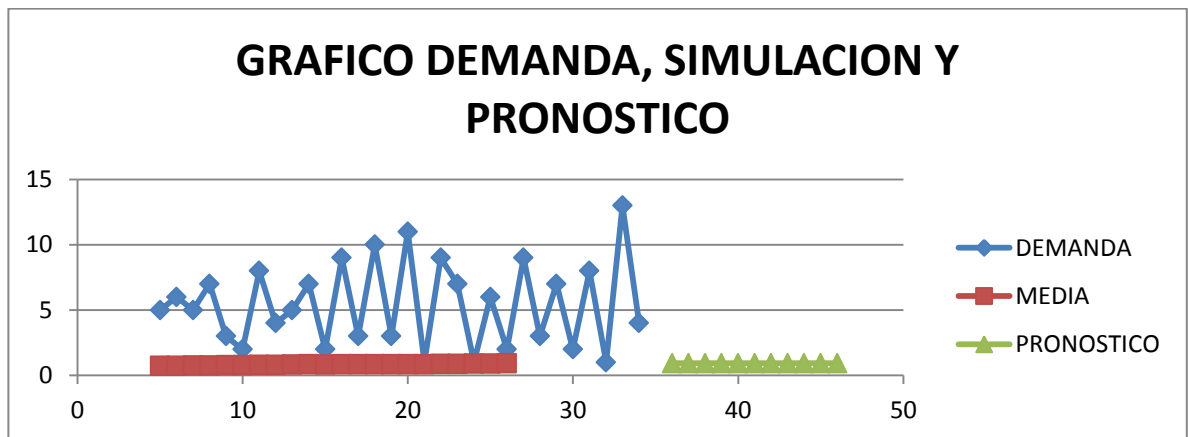
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 24. Parámetros de control pronostico croston muestra 4.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
CROSTON	0.148	0.5267	0.020915033	3.555555132	0.5972	0.35669	0

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 54. Pronostico syntetos y boylan Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico SyB, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

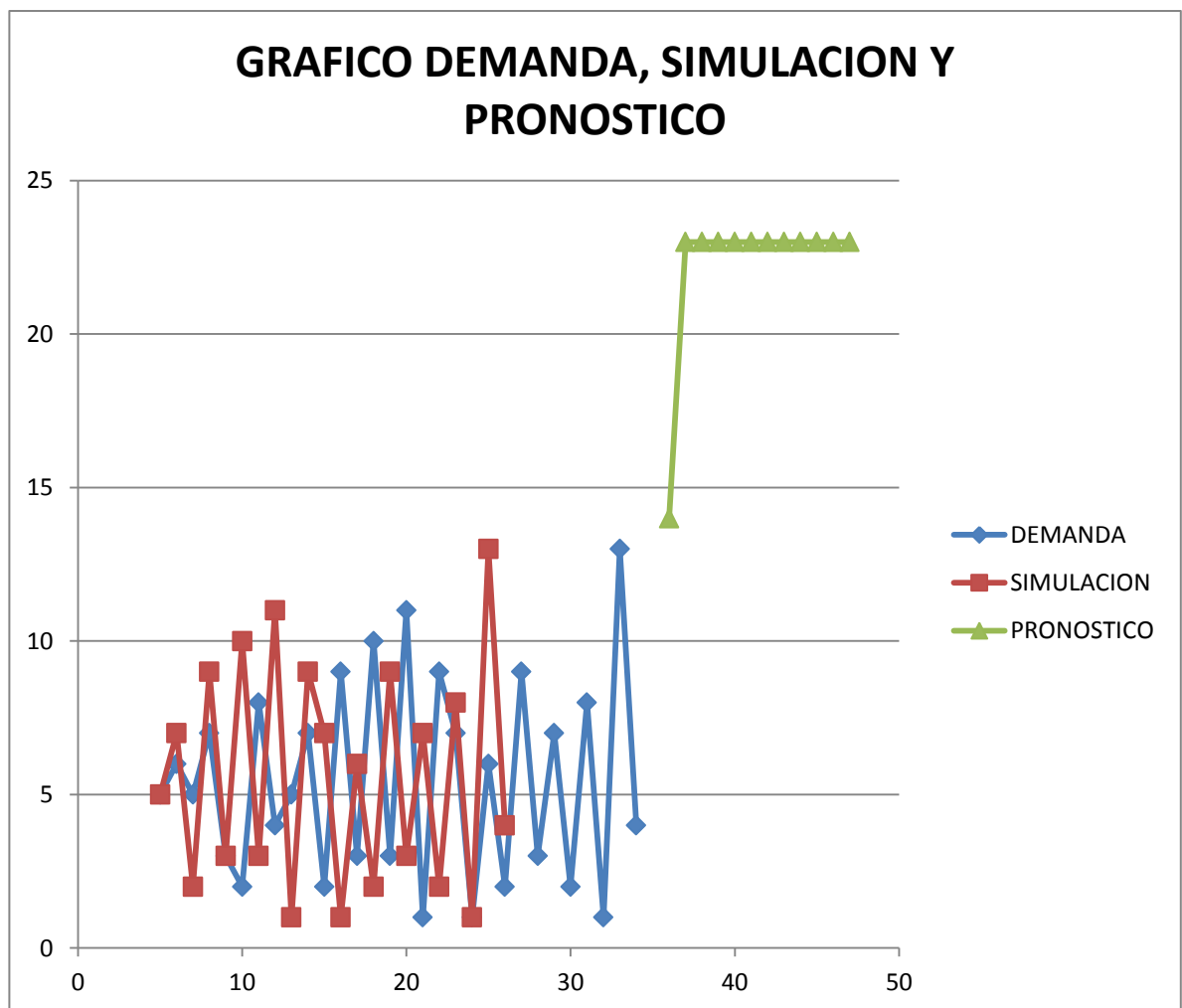
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 25. Parámetros de control pronóstico syntetos y boylan muestra 4.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
SYB	4.293	32.068	0.458399878	96.39523554	0.5972	0.35669	0

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 55. Pronostico adaptativo Muestra 3.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico adaptativo 2, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 24 unidades.

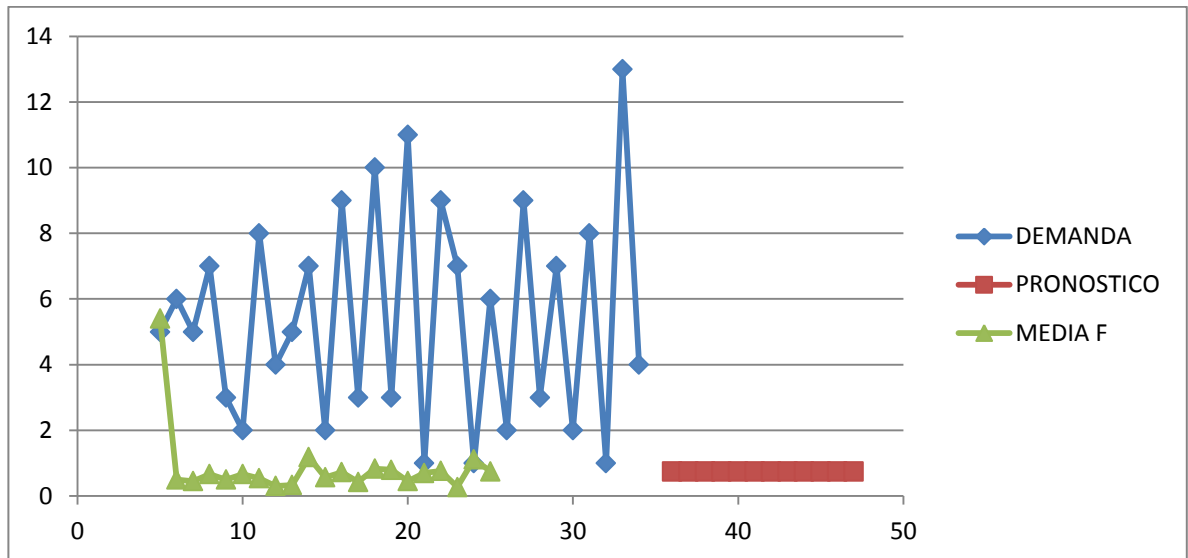
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 26. Parámetros de control pronostico adaptativo muestra 4.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
ADAPTATIVE 2	6.391	46.217	2.02869015	138.9847212	0.5972	0.35669	0

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 56. Pronostico bootstraping Muestra 4.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico bootstraping, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 1 unidad.

Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

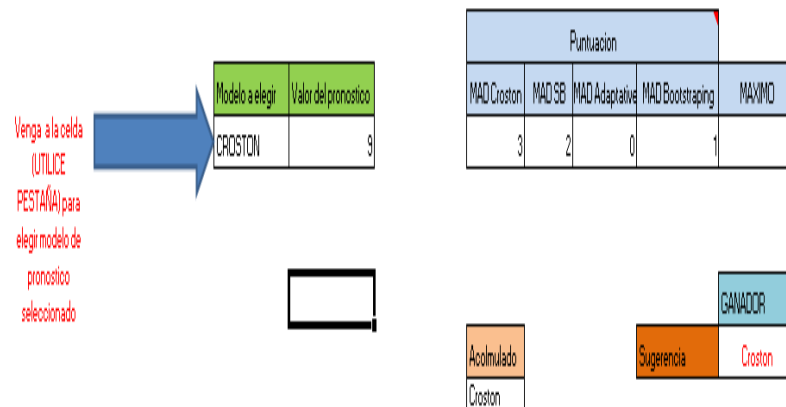
Tabla 27. Parámetros de control pronostico bootstraping muestra 4.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
BOOTSTRAPING	4.861	6.126	0.718826712	93.77398238	0.5972	0.35669	0

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior al análisis de los modelos de pronósticos planteados se pasa a observar la comparación de los métodos. En este caso se elije el modelo recomendado por la herramienta el CROSTON, y en este caso que el usuario decidió por medio de los parámetros de control cual era el que mejor se ajustaba y prefería CROSTON.

Figura 57. Elección pronostico Muestra 4.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El siguiente paso es ir a la plantilla de parámetros de la clasificación ABC, asumimos el costo de compra del repuesto de \$5000 unidad, y se tiene un promedio de unidades compradas del repuesto por año de 55 unidades. La clasificación dada para todo repuesto es de tipo A.

Nos dirigimos a la plantilla de parámetros de criticidad y ved. Digitamos que el repuesto pertenece al equipo de SISTEMAS , se estipula el nivel del efecto sobre la producción de la empresa como ALTO, la incidencia sobre los costos operativos sobre la producción se consideran como ALTOS, el efecto sobre la seguridad y el medio ambiente del equipo se consideran como ALTOS, se estipula que no hay equipos o maquinas que replacen al SISTEMAS, se clasifica la importancia del repuesto en el equipo como VITAL, se estipula que el equipo ya es usado, se escoge el nivel de carga como NORMAL, y por ultimo se digita el numero de paradas del equipo o maquina por día (4 veces) y las horas en servicio por día (24 horas).

Figura 58. Clasificación VED Muestra 4.

Item:	D123
Equipo al que pertenece:	CORTADORA
Efecto sobre la producción si el equipo	alto
Efecto sobre los costos operativos si el equipo faltase:	alto
Efecto sobre la seguridad y el medio ambiente si el equipo	alto
Tiempo medio entre fallas:	0
Cantidad de fallas por año:	55
¿Existe un equipo de reemplazo?:	NO
Clasifique la Vitalidad del repuesto para el equipo:	VITAL
En caso de no existir datos respecto a las fallas, Ingrese los siguientes datos	
¿El equipo es nuevo o usado?:	USADO
Nivel de carga:	NORMAL
Cantidad de Arranques/paros por día:	4
Horas en servicio por día:	24

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior a este paso vamos a la plantilla de criticidad, analizamos el valor arrojado de criticidad para el repuesto analizado como objeto de estudio, y nos da en este caso que la criticidad de este es ALTA.

Después vamos a la plantilla de clasificación VED y el resultado que nos arroja es que el repuesto tiene una clasificación tipo V (VITAL).

Para culminar la parte de las clasificaciones de los repuestos, vamos a la clasificación ABC VS VED, y obtenemos que el resultado para cada clasificación es A y D, y con base a eso nos arroja el nivel de servicio del producto que en este caso es del 90%.

Ahora vamos a la plantilla de control de obsoletos para introducir los parámetros de control de la política de obsoletos que tengamos, se estipula que las fechas de expiración del repuesto que es del 10 de diciembre de 2012, posterior a esto se indica que la fecha de la inspección es julio 7 de 2012, se ingresa el valor de inventario disponible en la bodega central que es de 2, por lo las fechas anteriores no se liquida el repuesto ya que este no ha pasado su ciclo de vida. Por ultimo el valor de inventario disponible es de 8 unidades. Y en el depósito hay 3 unidades de este mismo repuesto.

Se pasa a la plantilla de parámetros de políticas, aquí se estipula que el lead time promedio del proveedor es de 3 días con una desviación estándar de 0,012 días, se dice que se sabe el ultimo periodo de revisión (Periodo 2), y que vamos en el periodo 4 es decir el mes 4 del año. El tiempo de transporte de la bodega entre el deposito se estipula de 1 día con una desviación estándar de 0,001, y el tiempo de reparación de ese repuesto en el deposito es de 2 días con desviación estándar de 0,02 días.

Se ingresa el costo de mantener una unidad en inventario como para la bodega central como para los depósitos que serán diferentes en este caso de \$50 pesos/ unidad y el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$500 pesos/ unidad dentro de la bodega central, para los depósitos se tiene el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$300 pesos/ unidad y el costo de mantener una unidad en inventario es de \$40 pesos/unidad. Por ultimo selecciono la política de control de revisión periódica o continua.

REVISION PERIODICA

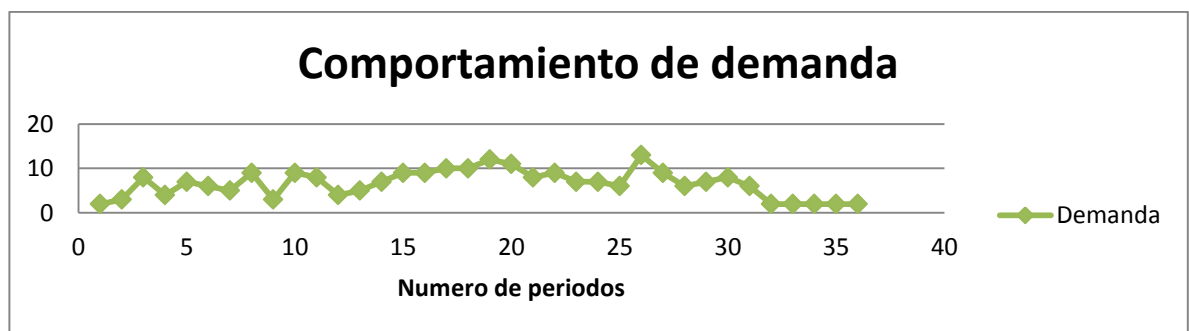
Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 0 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

REVISION CONTINUA

Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 32 unidades y en la bodega central es de 34 unidades a ordenar.

6.3.4 Prueba 4 (Demanda tipo SMOOTH).

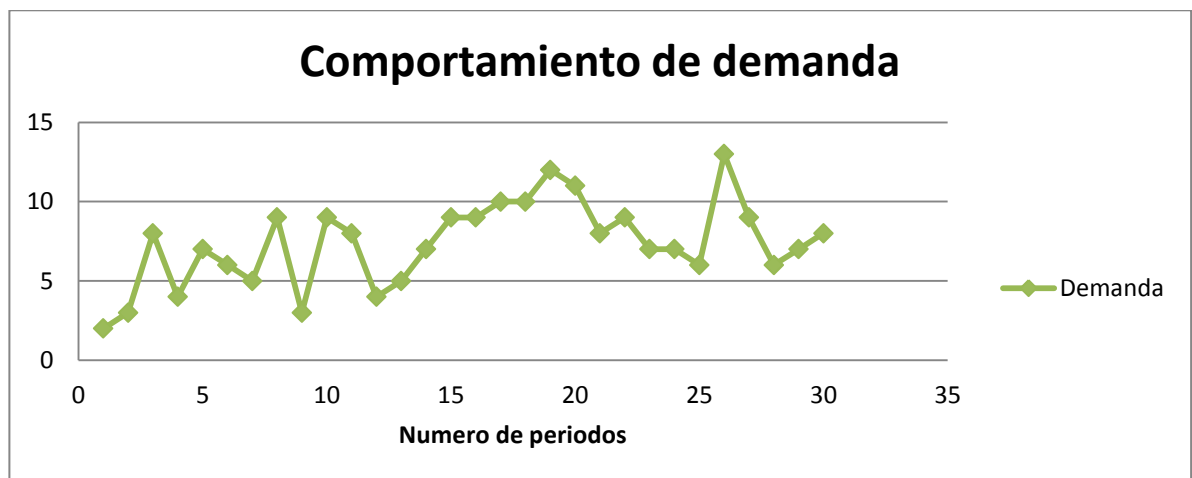
Figura 59. Datos históricos muestra 5.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Al ingresar los datos de demanda de prueba obtenemos la siguiente grafica para analizar, se puede ver que los primeros periodos cuentan con un comportamiento no regular con respecto a los otros datos subsiguientes, por lo cual se cumple con el escenario planteado por la prueba 4.

Posteriormente se accede a escoger los parámetros de inicialización, simulación y tamaño de periodos a pronosticar. En este caso se iniciara la serie de datos a partir del periodo 1, se ingresa un valor de periodos a utilizar como datos de inicialización de 10 periodos, un tamaño de datos a utilizar a partir del periodo inicial 1 de 30 datos dando paso a realizar su respectivo análisis omitiendo los datos posteriores a este periodo. Y por ultimo se pronosticaran 15 periodos.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Grafico con condiciones establecidas anteriormente.

En el siguiente paso según la plantilla de evaluación de comportamiento de demanda del repuesto, el tipo de demanda repuesto sugerido con base a su comportamiento es Smooth. Se toma la sugerencia de la herramienta y se pasa a analizar los datos históricos en cada modelo de pronostico ofrecido para es tipo de demanda especifica como demanda errática debido a que el grafico de tipo de demanda estándar se asemeja mas a la distribución que nosotros poseemos.

Figura 60. Análisis demanda muestra 5.

CV	0.360887	CV ²
ADI	0	0.13024

Desviación	2.658536
Promedio	7.366667

Intervalo promedio	0
--------------------	---

Numero de veces que no hay demanda continua	0
---	---

Suma del tiempo de los intervalos	30
-----------------------------------	----

CV ² Especificado	0.28
P especificado	1.34

Tipo de demanda Sugerida	Smooth
--------------------------	--------

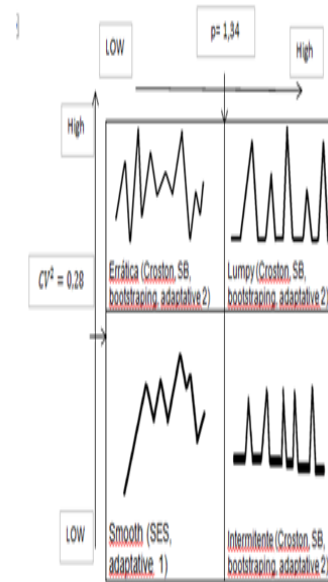


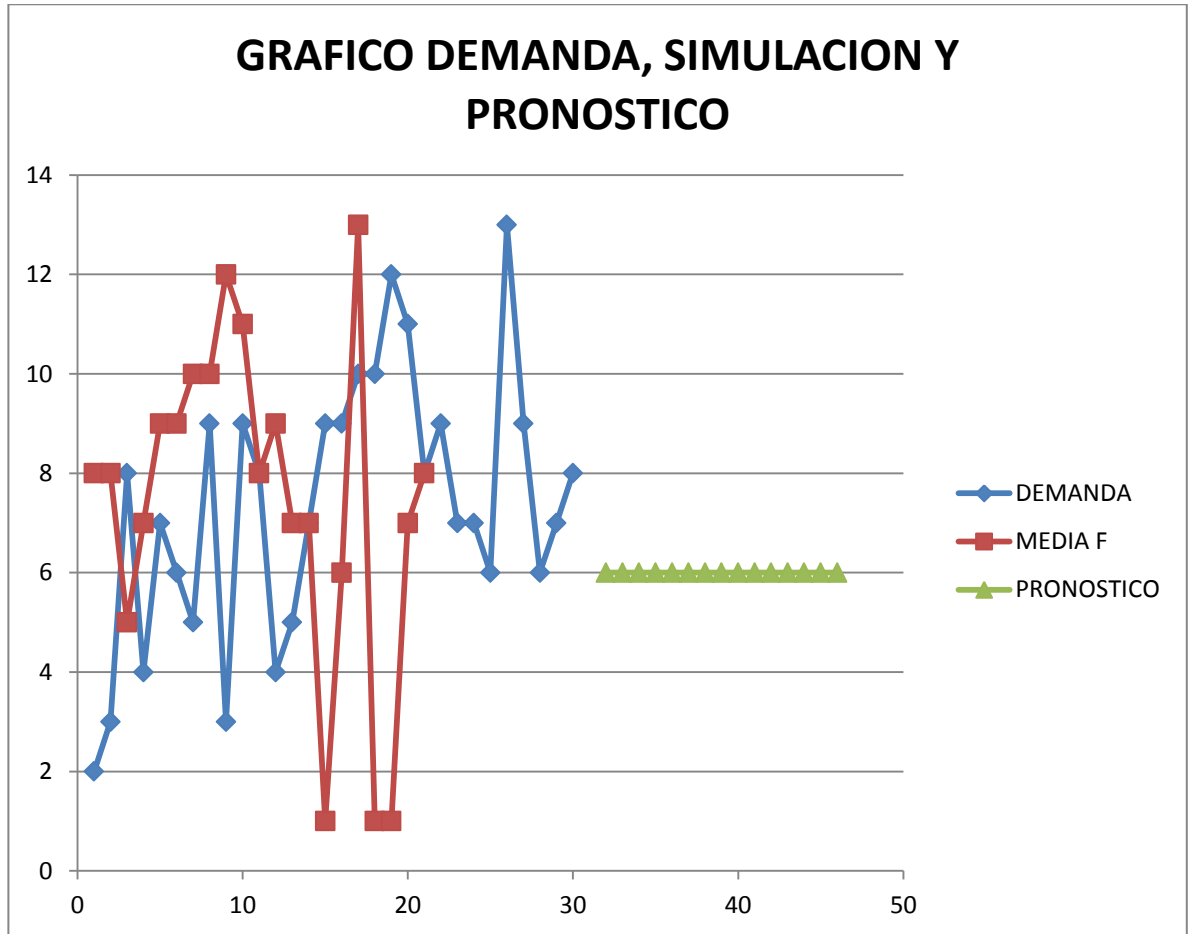
Figura 11. Categorización de los repuestos. Modificada por el autor.²¹

VOLVER INICIO	VOLVER HISTORICA REPUESTOS	PLANTILLAS DE PRONOSTICOS PARA CON
INICIO!A1	Demanda historica repuestos!A1	Pronostico Croston!A1
		Comportamiento DR!A1
		Pronostico SYB!A1
		SES!A1
		MODELO ADAPTATIVO 1!A1

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los resultados de cada modelo de pronóstico ofrecido son los siguientes:

Figura 61. Pronostico SES Muestra 5.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El valor constante del pronóstico es de 6 unidades por periodo pronosticado que se estiman.

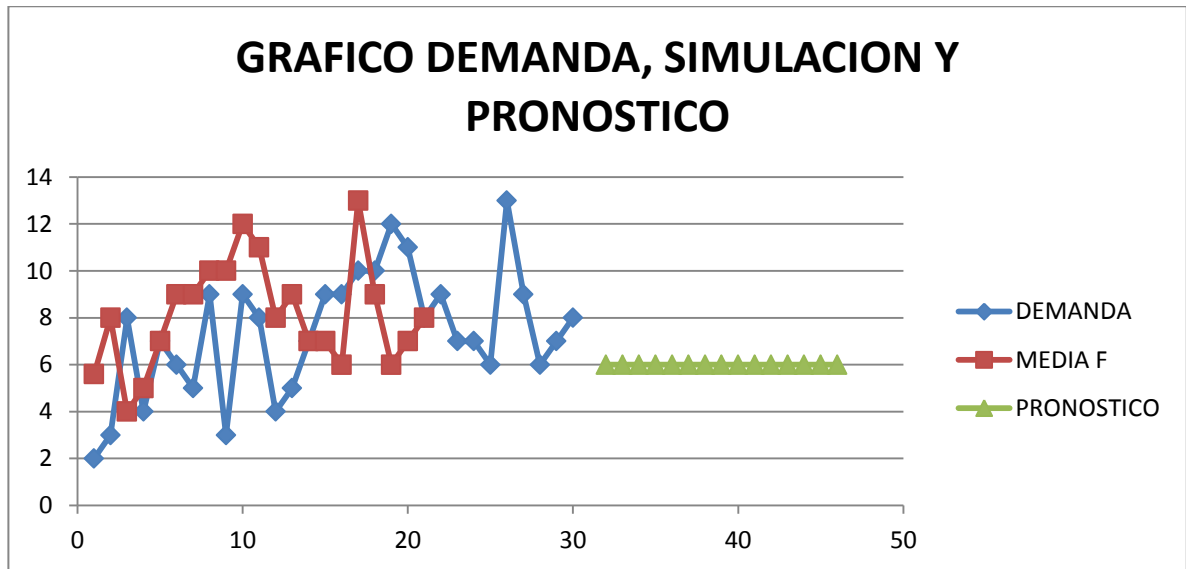
Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 28. Parámetros de control pronostico SES muestra 5.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
SES	2.226	7.7837	0.8653584	47.72655869	0.3609	0.13024	0

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Figura 62. Pronostico adaptativo 1 Muestra 5.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Los valores arrojados estimados por el pronóstico adaptativo 1, nos dice que las unidades estimadas por periodo son de 6 unidades.

Y posee unos parámetros de control del pronóstico de:

Tabla 29. Parámetros de control pronostico adaptativo 1 muestra 5.

	MAD	MSD	MAPE	Señal de rastreo	CV	CV2	P
ADAPTATIVE 1	2.018	6.7164	0.335822763	41.49420815	0.3609	0.13024	0

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior al análisis de los modelos de pronósticos planteados se pasa a observar la comparación de los métodos. En este caso se elije el modelo recomendado por la herramienta el SES, y en este caso que el usuario decidió por medio de los parámetros de control cual era el que mejor se ajustaba y prefería SES.

Figura 63. Elección pronostico Muestra 5.



Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

El siguiente paso es ir a la plantilla de parámetros de la clasificación ABC, asumimos el costo de compra del repuesto de \$300 unidad, y se tiene un promedio de unidades compradas del repuesto por año de 74 unidades. La clasificación dada para todo repuesto es de tipo A.

Nos dirigimos a la plantilla de parámetros de criticidad y ved. Digitamos que el repuesto pertenece al equipo de MOTOR ELECTRICO , se estipula el nivel del efecto sobre la producción de la empresa como BAJO, la incidencia sobre los costos operativos sobre la producción se consideran como BAJO, el efecto sobre la seguridad y el medio ambiente del equipo se consideran como BAJO, se estipula que no hay equipos o maquinas que remplacen al MOTOR ELECTRICO, se clasifica la importancia del repuesto en el equipo como ESENCIAL, se estipula que el equipo ya es usado, se escoge el nivel de carga como NORMAL, y por ultimo se digita el numero de paradas del equipo o maquina por día (0 veces) y las horas en servicio por día (24 horas).

Figura 64. Clasificación VED Muestra 5.

Item:	D123
Equipo al que pertenece:	MOTOR ELECTRICO
Efecto sobre la produccion si el equipo:	bajo
Efecto sobre los costos operativos si el equipo faltase:	bajo
Efecto sobre la seguridad y el medio ambiente si el equipo:	bajo
Tiempo medio entre fallas:	0
Cantidad de fallas por año:	74
¿Existe un equipo de reemplazo?:	NO
Clasifique la Vitalidad del repuesto para el equipo:	ESENCIAL
En caso de no existir datos respecto a las fallas, Ingrese los siguientes datos	
¿El equipo es nuevo o usado?:	USADO
Nivel de carga:	NORMAL
Cantidad de Arranques/paros por dia:	0
Horas en servicio por dia:	24

Fuente: Herramienta control de inventario de repuesto (Elaborada por el autor).

Posterior a este paso vamos a la plantilla de criticidad, analizamos el valor arrojado de criticidad para el repuesto analizado como objeto de estudio, y nos da en este caso que la criticidad de este es ALTA.

Después vamos a la plantilla de clasificación VED y el resultado que nos arroja es que el repuesto tiene una clasificación tipo V (VITAL).

Para culminar la parte de las clasificaciones de los repuestos, vamos a la clasificación ABC VS VED, y obtenemos que el resultado para cada clasificación es A y D, y con base a eso nos arroja el nivel de servicio del producto que en este caso es del 90%.

Ahora vamos a la plantilla de control de obsoletos para introducir los parámetros de control de la política de obsoletos que tengamos, se estipula que las fechas de expiración del repuesto que es del 10 de diciembre de 2012, posterior a esto se indica que la fecha de la inspección es julio 7 de 2012, se ingresa el valor de inventario disponible en la bodega central que es de 2, por lo las fechas anteriores no se liquida el repuesto ya que este no ha pasado su ciclo de vida. Por ultimo el valor de inventario disponible es de 8 unidades. Y en el depósito hay 3 unidades de este mismo repuesto.

Se pasa a la plantilla de parámetros de políticas, aquí se estipula que el lead time promedio del proveedor es de 3 días con una desviación estándar de 0,012 días, se dice que se sabe el ultimo periodo de revisión (Periodo 2), y que vamos en el periodo 4 es decir el mes 4 del año. El tiempo de transporte de la bodega entre el deposito se estipula de 1 día con una desviación estándar de 0,001, y el tiempo de reparación de ese repuesto en el deposito es de 2 días con desviación estándar de 0,02 días.

Se ingresa el costo de mantener una unidad en inventario como para la bodega central como para los depósitos que serán diferentes en este caso de \$50 pesos/ unidad y el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$500 pesos/ unidad dentro de la bodega central, para los depósitos se tiene el costo de penalización por ocurrencia de no tener una unidad en el inventario de \$300 pesos/ unidad y el costo de mantener una unidad en inventario es de \$40 pesos/unidad. Por ultimo selecciono la política de control de revisión periódica o continua.

REVISION PERIODICA

Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 0 unidades y en la bodega central es de 0 unidades a ordenar.

REVISION CONTINUA

Por medio de esta política me dice que la cantidad a ordenar en el depósito es de 22 unidades y en la bodega central es de 23 unidades a ordenar.

7. APOORTE INTELECTUAL

Hoy en día muchas de las empresas de nuestro país buscan cada vez más una manera para minimizar los costos que genera no tener los repuestos de máquinas a la hora de una falla en el sistema productivo para realizar el recambio de las piezas averiadas, por esto es indispensable estudiar cada vez más este tema para poder disminuir los impactos económicos que genera esta acción dentro de las empresas colombianas.

Durante muchos años se ha manejado las tendencias de las demandas por medio de métodos que tratan de acoplarse a una distribución de datos históricos de demandas pasadas, para poder deducir cual sería el método más conveniente a aplicar para los pronósticos de los productos, según unos análisis que se realizan previamente y arrojan la clasificación del producto y por medio de cual método se puede realizar su pronóstico. Durante muchos años en Colombia se han basado en aplicar estos métodos para poder planear la fabricación de sus productos, pero hoy en día nace otro factor importante que es poder tener piezas de repuestos en sus inventarios para que el día que la necesiten por x o y motivo puedan ser utilizadas. Se sabe que las demandas de los repuestos presentan en su mayoría datos históricos donde su consumo o uso son intermitentes, es decir en algunos casos se usa el repuestos mucho en otros no se usa nunca, así se puede pasar un año completo en la misma tendencia, por lo cual es muy difícil tratar de manejar estas demandas históricas por medio de métodos que arrojen como podemos planear cuando vamos a necesitar estos o cuanta cantidad debo tener almacenada para cuando necesite de este. En el mundo se está comenzando a estudiar sobre estos temas para poder generar alternativas de métodos matemáticos que puedan solucionar estos problemas de comportamientos de los repuestos y así poder medir y anticiparse a la tendencia que puede tener este en un periodo concreto dentro de las empresas.

Pero lo preocupante es que cuando surge esta necesidad es que en nuestro país el estudio sobre este fenómeno en las industria es muy pobre, es decir las industrias y las academias no han hecho énfasis en investigación y desarrollo de inventarios de repuestos, debido a que consideran en Colombia que estas piezas son un gasto y no una inversión a largo o corto plazo que puede ayudarte a sacarte de aprietos cuando lo requieras en el momento que sea.

El panorama investigativo que se tiene en nuestro país acerca de inventarios de repuestos es muy bajo, con muy pocos estudios, por esto este campo no se ha visto y no ha salido a luz como una parte de las empresas que puede generar

unos impactos de gran relevancia para ellos, en términos económicos y productivos. El cambio de una pieza de una máquina de vital importancia para el ciclo productivo de una empresa, es una labor que se tiene que hacer a lo más pronto posible debido a que entre más se demore el paro de esta, mas se incurre en costos de unidades horas/ maquina, costos por perdida de fabricación de esas unidades y sobrecostos por la obtención del repuesto sino se tiene en la empresa.

Por esto es de vital importancia tener un control eficaz de los inventarios de repuestos en las empresas para aumentar su nivel de productividad, donde tengamos a mano el repuesto cuando lo necesitemos, el que necesitemos y que no esté obsoleto por que no sabíamos que ya no sirve o se deterioró para el uso de la maquina por causa del tiempo.

En Colombia un control de piezas de repuestos dentro de las industrias tendría un impacto muy considerables debido a que si se previenen todo tipo de paros o intermitencias al sistema productivo, se puede aumentar la productividad del sistema, por ende el nivel de servicio de la empresa aumenta y la competitividad de la empresa aumenta notablemente porque siempre va a tener producto para suplir las demandas de sus clientes.

Por esto en nuestro país las academias deberían de comenzar a estudiar temas no solo en cómo gestionar la fabricación de productos desde muchos puntos de vistas sino también se debería tener en cuenta los factores externos que afectan o que incurren en algún impacto sobre la fabricación o productividad de las empresas. Teniendo en cuenta los pequeños detalles se podría comenzar a realizar un análisis más a fondo del manejo de la planeación y control de la producción en muchas empresas de país.

8. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto se puede observar un trabajo de investigación basado centralmente en el control de inventario de repuesto, la recolección de información e investigación acerca del tema, requiere de mucho tiempo por parte del investigador.

El análisis de cada uno de los papers, libros, paginas web etc. Requiere de gran tiempo de trabajo debido a que las fuentes consultadas no están en el idioma Español, por lo cual dificultad la comprensión y la adaptación de cada uno de las teorías o conceptos a trabajar en cada punto del desarrollo de las teorías del estado actual del proyecto. Al final se puede notar que se plantea una integración para abordar cada componente que posee el control del inventario de repuesto en una cadena de abastecimiento en este caso de 2 escalones.

Se encontraron teorías acerca del manejo de faltantes, tiempo de servicio, manejo de obsoletos, políticas de inventario, modelos de pronósticos, criticidad y clasificación de los repuestos. Cada uno de estos componentes nos permitieron agrupar y realizar una propuesta de herramienta que con base a cada uno de estos ejes temáticos nos permitiría analizar y controlar el inventario de repuesto en una cadena de abastecimiento de 2 escalones, con objetivo central en el mismo desarrollo de la orden de generar una cantidad de repuesto a pedir en el momento de que se realice un análisis de demanda de repuesto en esta misma.

Se puede encontrar que la herramienta es automatizada y que permite que el usuario después de ver su respectivo manual tenga una primera idea para comenzar a utilizar esta como él lo requiere. Para probarlo se llevo a la decisión de realizar diferentes pruebas que evaluaran el desempeño de esta misma, las se realizaron con base en la escogencia de diferentes tipos de demandas abordadas durante el desarrollo del proyecto que manejan el comportamiento de los repuestos. La herramienta analizo y pudo arrojar resultados acerca de un valor de la cantidad que se debe pedir en cada caso analizado. Lo más conveniente fue tomar la referencia de cada tipo de demanda para evaluar en su totalidad el rendimiento y funcionamiento de esta misma.

Podemos ver que la herramienta posea una gran metodología y estructura que provee un conocimiento muy profundo acerca de modelos de pronósticos actuales que apenas se están implementando en el exterior, la herramienta posee modelos y teorías que hoy en día en Colombia no se tienen en cuenta, es decir en nuestro país utilizan estos métodos tradicionales y convencionales y no aplican este tipo

de nuevos métodos investigados recientemente que pueden mitigar y ayudar a tener un mejor y preciso control de los inventarios de repuesto en este caso.

Por ultimo, el conocimiento que el investigador obtuvo en el desarrollo del proyecto fue significativo, debido a que se dio la tarea de saber sobre temas que no son muy estudiados en la actualidad dentro del entorno en el que nos encontramos, abordar nuevos tipos de pronósticos nunca vistos durante su desarrollo profesional, políticas de inventarios, modelos de manejo de diferentes factores que determinan y afectan la demanda de los productos como los faltantes, tiempo de servicio, obsolescencia etc. Permite que el investigador vaya conociendo y especializándose en este tema para que poco a poco se vuelva un conocedor muy bueno acerca del control de inventarios de todo tipo de productos que manejan las industrias, y exactamente en el manejo de los repuestos que es el enfoque principal del desarrollo del proyecto realizado.

9. RECOMENDACIONES

El proyecto posee varias áreas en donde se pueden profundizar, por ejemplo el área del estado actual de las teoría y métodos para el manejo del inventario de repuesto, en el desarrollo de la herramienta automatizarla mas por medio de software no convencionales como y probar dicha herramienta ya sea en una empresa colombiana y realizar una implementación para analizar dicho funcionamiento de esta en la vida real.

Para la parte del estado actual en teoría y métodos para el control de inventario de repuestos, se debe estar actualizando constantemente para irse acoplado a las nuevas investigaciones avaladas y desarrollar versiones mejoradas de una base de datos confiable que provea un conocimiento cada vez mas fuerte y estructurado al manejo de los repuestos a la comunidad en la que nos encontramos.

Respecto a la herramienta se puede seguir trabajando en el diseño de esta, por medio de actualización de datos y modelos planteados, la posibilidad de expandirla utilizando un programa y software diferente al utilizado previamente. Este podría ser Pro model para el caso del cálculo de inventario en la cadena de abastecimiento debido a que la herramienta posee ciertas limitaciones.

Por ultimo el trabajo de campo seria poder llevar la herramienta a la aplicación real dentro de una empresa que maneje repuesto en la región, para que se pruebe la efectividad de esta misma como su funcionamiento ya con datos reales y con una estructura mas completa.

10. BIBLIOGRAFIA

Páginas web.

- <http://www.productivity.in/knowledgebase/Plant%20Engineering/g.%20Spare%20Parts%20Management.pdf>
- <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc432.htm>

Tesis consultadas.

- Andrea Callegaro. FORECASTING METHODS FOR SPARE PARTS DEMAND. ANNO ACCADEMICO 2009/2010. 80 pag. Presentado a DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE TESI DI LAUREA TRIENNALE.
- MANEJO DEL INVENTARIO DE MANTENIMIENTO, Ing. Fernando Espinosa Fuentes, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca
- SPARE PARTS INVENTORY MANAGEMENT WITH DELIVERY LEAD TIMES AND RATIONING, M.S. Yasar Levent Kocaga, Department of Industrial Engineering and the Institute of Engineering and Science of Bilkent University
- Maurice D. Cavitt. EVALUATING OBSOLETE INVENTORY POLICIES IN A HOSPITAL'S SUPPLY CHAIN. DECEMBER 2010. Paginas 63. Presented to the Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska. In Partial Fulfillment of Requirements For the Degree of Master of Science.

Articulos consultados.

- LI Zhi-Peng, YU Hong, LIU Yun-Cai, LIU Fu-Qiang. "An Improved Adaptive Exponential Smoothing Model for Short-term Travel Time Forecasting of Urban Arterial Street". Vol. 34, No. 11. November, 2008.
- Bookbinder .H., Lordahl A.E., 1989, "Estimation of inventory re-order levels using the bootstrap statistical procedure" IIE Transactions, n.21, p. 302–312.
- Denis Caglar, Chung- Lun Li, David Simchi-Levi. Two- Echelon Spare Parts Inventory Sistem Subject to Service Constraint. Febrery 2002. Paginas 5-11.
- Repsol y PF. Ingeniería de Mantenimiento- Staff Técnico ABB. Estudio de Criticidad de Equipos. Julio 2005.

Libros consultados.

- Planeación y Control de la Producción. Daniel Siiper y Robert L. Bulfin jr. Mc Graw Hill. Capitulo 4. Control del pronóstico. Páginas 156-159.
- Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Daoud Ait-Kadi. Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer .Capitulo 9.
- Sven Axater. INVENTORY CONTROL. Segunda Edición. Springe. Capitulo 8. Páginas 188-190.
- John E. Boylan and Aris A. Syntetos. Forecasting for Inventory Management of Service Parts. Capitulo 20.

Otras referencias citadas.

- Bartezzaghi E, Verganti R, Zotteri G, (1996) A framework for managing uncertain lumpy demand. Paper presented at the 9th International Symposium on Inventories, Budapest, Hungary.
- Caglar, D. (2001). A Multi-Echelon Spare Parts Inventory System with Emergency Lateral Shipments Subject to a Response Time Constraint. PhD Dissertation, Northwestern University, Evanston, IL.
- Dohi T, Kaio N, Osaki S (1996) Optimal ordering policies with time-dependent delay structure. J Qual Maint Eng 2: 50–62
- Graves, S.C. (1985). A Multi-Echelon Inventory Model for a Repairable Item with One-for-One Replenishment. Management Science 31, pp. 1247–1256.
- Kennedy WJ, Patterson JW, Fredendall LD (2002) An overview of recent literature on spare parts inventories. Int J Orod Econ 76: 201–215
- Palm, C. (1938). Analysis of the Erlang Traffic Formula for Busy Signal Arrangements. Ericsson Technics 5, pp. 39–58. Operations Research 16, pp. 122–141.
- Sherbrooke, C.C. (1986). VARI-METRIC: Improved Approximations for Multi-Indenture, Multi-Echelon Availability Models. Operations Research 34, pp. 311–319.
- Silver EA, Pyke DF, Peterson R (1998) Inventory Management and Production Planning and Scheduling. John Wiley & Sons, New York
- Syntetos A.A., Boylan J.E., 2001, “On the bias of intermittent demand estimates” International journal production economics, n.71, p. 457-466.
- Syntetos A.A., Boylan J.E., 2005, “The accuracy of intermittent demand estimates”, International journal production economics, n.21, p. 303-314.

- Syntetos A.A., Boylan J.E., Croston J.D., 2005, “On the categorisation of demand patterns”, *Journal of the Operational Research Society*, n.56, p.495–503.
- Syntetos A.A., 2007, “A note on managing lumpy demand for aircraft spare parts”, *Journal of air transport management*, n.13, p.166-167.

11. ANEXOS

MATRIZ DE MARCO LÓGICO

Determinar el estado actual de las teorías, técnicas, métodos y herramientas disponibles para el control de inventario de repuestos a través de una Supply Chain (SC) de dos escalones.	INDICADORES		MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
	Enunciado (Dimensión /ámbito de control)	Formula de calculo		
FIN: Ayudar a fortalecer nuestros conocimientos acerca de teorías e investigaciones de inventarios de repuestos, para poder aplicar estos conocimientos en la elaboración de la herramienta.				
PROPÓSITO: El integrante de este proyecto mejora sus conocimientos acerca del control de inventarios de repuestos.	(Eficacia/Resultado Intermedio) Aumenta el campo de aplicación utilizando nuevas teorías para inventarios de repuestos.		Numero de libros investigados , páginas web visitadas y tomadas como fuente, numero de papers leídos de inventarios de	Plantear como se puede utilizar los métodos aprendidos para aplicarlos en el software escogido. Realizar un esquema previo de como

			repuestos.	funcionara la herramienta.
<p>COMPONENTES: 1) El integrante del proyecto obtiene conocimientos para el control de inventarios de repuestos. 2) El integrante del proyecto puede aplicar estos conocimientos en lo que requiera para el desarrollo de este.</p>	<p>1)(Calidad/Procesos) Certificación de bases confiables que mejoran nuestra capacidad intelectual. 2)(Eficacia/Procesos) Conocimientos sobre inventarios de repuestos que se aplicaran en la creación de métodos en la herramienta de control.</p>		<p>Por medio de las personas a cargo del proyecto y tutores. Verificando que la información sea avalada por universidades y organizaciones que se especializan en el tema de inventarios de repuestos.</p>	<p>Reuniones para identificar que temas se tomaran para el desarrollo del proyecto. Identificar qué tipos de software les ayudara para desarrollar la herramienta. Identificar como pueden plasmar en el software los conocimientos.</p>
<p>ACTIVIDADES: Consolidar información relevante. Reunirse a debatir ideas. Investigar en libros. Investigar en papers. Investigar en Internet.</p>				<p>Tomar varias horas para leerle e investigar sobre el tema de inventario de repuestos. Realizar reuniones entre el tutor temático y el investigador del proyecto consolidar información. Desarrollar una retroalimentación sobre los temas estudiados.</p>

Diseñar una herramienta para el control de inventario de repuestos a través de una SC de dos escalones, tal que planifique la demanda, aprovisionamiento de repuestos, almacenaje de los repuestos a través de la SC.	INDICADORES		MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
	Enunciado (Dimensión /ámbito de control)	Formula de calculo		
FIN: Consolidar un software que permita controlar inventarios de repuestos.				
PROPÓSITO: Una herramienta que permita medir: Niveles de inventarios, realizar pronósticos que den una primera imagen del comportamiento de la demanda de repuestos. En la cadena de abastecimiento de una empresa.	(Eficacia/Resultado final) La herramienta permite determinar un análisis del comportamiento de la demanda de los repuestos.	Total de los múltiples ensayos.	Inspección visual de los tutores a cargo del proyecto como del integrante. Registros de información elaborados por la herramienta .	Tener el archivo del Software en Excel. Tener el manual de uso para la herramienta.
COMPONENTES: 1) Un software en Excel que controle los inventarios de repuestos.	(Eficacia/Producto) 1) Numero de métodos para pronosticar demandas.	1) Cantidad de métodos utilizados.	Reportes del software acerca de los pronósticos	Hacer pruebas a la herramienta en Excel arrojando lo

<p>2) Elaboración de un manual que permita estandarizar la herramienta para el uso en general.</p>	<p>(Eficacia/Producto) 2) Numero de repuestos con sus demandas históricas. (Eficiencia/Producto) 3) Facilidad del manual para permitir uso de la herramienta.</p>	<p>2) Cantidad de repuestos. 3)(Número de personas que entienden/ número de personas que se les realizo prueba)</p>	<p>y de la cantidad de datos que posee la base de datos académica.</p>	<p>requerido. Identificar los procedimientos y métodos de la herramienta, para explicarlos en texto.</p>
<p>ACTIVIDADES: -Realizar las plantillas de cada pronóstico estudiado. -Realizar una plantilla que evalué cual sería el mejor método para realizar el pronóstico de demanda de los repuestos respecto a su demanda histórica. -Realizar plantillas que midan nivel de inventario de repuestos y cuanto debo comprar en una SC de 2 escalones. -Ejecutar el método de pronóstico mejor calificado para esa demanda histórica</p>				<p>Recolección de información sobre demanda histórica sobre algunos repuestos (10 demandas de repuestos para análisis). Introducir los datos históricos en el software. Trabajar creando y plasmando métodos en Excel de pronósticos de demanda.</p>

de repuestos.				Trabajar creando y plasmando métodos en Excel de control de inventario. Trabajar algunas horas para la realización de las plantillas.
Realizar una prueba académica de la herramienta, para validar su correcto funcionamiento.	INDICADORES		MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
	Enunciado (Dimensión /ámbito de control)	Formula de calculo		
FIN: Consolidación de herramienta que se ajusta a las condiciones de los repuestos en una SC de 2 escalones. A través de un análisis académico.				
PROPÓSITO: Con datos acerca de comportamiento de demanda de repuestos, realizar un análisis, que compruebe el correcto	(Eficacia/ Resultado Final) 1) La herramienta cumple con los requerimientos y métodos requeridos para plantear una posible propuesta.	1)Calificación de cumplimiento		Implementar la herramienta en una base de datos de repuestos. Analizar en un contexto real el

funcionamiento de la herramienta planteada.				impacto de la herramienta.
<p>COMPONENTES:</p> <p>1) Análisis previo de los datos finales.</p>	<p>(Eficiencia/producto)</p> <p>1) Cumple con los objetivos de pronosticar, diagnosticar y controlar el inventario de repuestos.</p> <p>(Eficacia/resultados finales)</p> <p>2) Los datos finales cumplen con resultados coherentes y viables para la toma de decisiones.</p> <p>3) Disminución de la demanda que adquiere (Porcentaje).</p>	<p>2)</p> <p>(Gastos en inventarios de repuestos en año anterior)/(gastos de inventario de la propuesta)</p> <p>-(Demanda de la propuesta de repuestos)/(demanda del año anterior de repuestos)</p>		<p>Realizar prueba académica.</p> <p>Recoger resultados de prueba académica.</p> <p>Realizar análisis de los resultados de la prueba académica.</p>
<p>ACTIVIDADES:</p> <p>Obtener los datos de demanda de repuesto para realizar la prueba académica de la herramienta.</p> <p>Realizar el análisis</p>				<p>Obtener datos.</p> <p>Trabajar para concretar un análisis de la implementación de la herramienta.</p> <p>Tener a</p>

<p>por medio de la herramienta.</p> <p>Tomar los resultados y plantear una solución factible para el control de estos inventarios.</p> <p>Proponer lo obtenido para ver lo viable que fue el análisis de la herramienta.</p> <p>Recoger resultados de la simulación de la propuesta elaborada.</p>				<p>mano los resultados.</p> <p>Presentar la propuesta de la prueba académica hecha previamente, con los resultados finales del estudio.</p>
--	--	--	--	---