

**ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LENTO MOVIMIENTO DEL DEPARTAMENTO  
DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON  
LIMITED**

**MARÍA ISABEL SARMIENTO GARCÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2011**

**ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LENTO MOVIMIENTO DEL DEPARTAMENTO  
DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON  
LIMITED**

**MARÍA ISABEL SARMIENTO GARCÍA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Industrial**

**Director**

**Ph.D. Henry Lamos Díaz**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2011**

## DEDICATORIA

*A quien me ha guiado por un sendero y me ha iluminado al andar, a quien me da la sabiduría y las capacidades para afrontar grandes retos en mi vida, a quien me da la salud para permitirme vivir las experiencias que me hacen crecer día a día y sobre todo, a quien le debo todo: Dios.*

*A quien con todo su amor y bondad me demuestra que con esmero, constancia y dedicación es posible cumplir las metas que me propongo, no hay palabras para expresar cuanto le debo. A quien me dio la vida: mi madre Rosa Inés.*

*A quien con ejemplo de perseverancia y constancia me apoya siempre y es ejemplo de hermano mayor: Fabián.*

*A quienes me han acompañado en tantos momentos desde el inicio de mi vida: mi padre Gabriel y mi hermano Diego.*

*A quien me ha acompañado durante esta etapa que culmina hoy con este trabajo apoyándome en todo momento. A quien me ha hecho saber que el amor de verdad existe: Raúl.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Al finalizar una etapa de la vida tan importante con un arduo trabajo como este, es imposible no haber adquirido una deuda con quienes directa o indirectamente hicieron posible el feliz término de este proyecto. Por esta razón, quiero plasmar en las próximas líneas mis agradecimientos a las personas e instituciones reconociendo muy sinceramente su colaboración en torno al desarrollo de este trabajo.*

*Ante todo a Dios por permitir que mis metas y sueños se materialicen.*

*A Cerrejón, por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo las actividades propias del proyecto. La más sincera gratitud al ingeniero Luis Germán Meneses por la oportunidad brindada y la confianza depositada en mí. Al ingeniero Osvaldo Acosta por sus consejos, continuo apoyo y permanente seguimiento al trabajo desarrollado. A Noé Castellanos y familia por abrirme las puertas de su hogar, y en general, a mis compañeros de trabajo y a todas aquellas personas que durante mi estancia en la compañía, hicieron de ésta una experiencia enriquecedora.*

*También quiero expresar mis agradecimientos al doctor Henry Lamos por su apoyo, orientación y paciencia en la dirección de este proyecto.*

*Al doctor Aris Syntetos por sus conocimientos, orientación y guías fundamentales en el desarrollo del trabajo.*

*A los ingenieros Néstor Ortiz y Carlos Díaz por sus valiosos comentarios, el tiempo y la dedicación empleada en la revisión y calificación de este proyecto.*

*A la Universidad Industrial de Santander por indicarme el camino en busca del conocimiento, haciéndome sentir orgullosa de pertenecer al alma mater.*

*Y, por supuesto, de manera muy profunda a mi familia y amigos por su compañía y apoyo incondicional en todo momento.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN _____	15
1. GENERALIDADES _____	18
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA _____	18
1.1.1 Generalidades _____	18
1.1.2 Estructura Organizacional _____	19
1.1.3. Historia _____	21
1.1.4. Productos _____	23
1.1.5. Clientes _____	23
1.1.6. Procesos _____	24
1.1.6.1. Mantenimiento de Equipo Minero _____	26
1.1.6.2. Abastecimiento. _____	30
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA _____	31
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO _____	37
1.4. OBJETIVOS _____	37
1.4.1. Objetivo General _____	37
1.4.2. Objetivos Específicos. _____	37
1.5. DESARROLLO METODOLÓGICO _____	38
1.5.1. Revisión Bibliográfica. _____	38
1.5.2. Revisión Empresarial. _____	38
2. ESTADO DEL ARTE _____	40
2.1 MARCO CONCEPTUAL _____	40
2.1.1. Segmentación. _____	40
2.1.2 Reposición del Inventario _____	43
2.2 MARCO TEORICO _____	45
2.2.1. Inventario _____	45
2.2.1.1 Tipos de Inventario _____	45
2.2.1.2 Costos asociados al inventario. _____	45
2.2.1.3 Inventario de lento movimiento. _____	46

2.2.2 Modelo de segmentación según criticidad	50
2.2.2.1 Modelo de Puntuación	51
2.2.2.2 Etapas Para Determinar la Criticidad de un ítem	52
2.2.3 Estimación de Demanda Intermitente	54
2.2.4 Distribuciones de la Demanda Intermitente	56
2.2.5 Enfoque Bayesiano	57
2.2.6 Enfoque Bootstrap	58
2.2.7 Categorización de demanda no-normal.	59
2.2.8 Modelos de Gestión de Inventarios de Lento Movimiento.	63
3. SEGMENTACIÓN DEL INVENTARIO SEGÚN CRITICIDAD	66
3.1 Etapas Para Determinar la Criticidad de un ítem.	66
3.1.1 Selección de las Variables Relevantes	66
3.1.2 Asignación de los Pesos de las Variables	67
3.1.3 Modelo de Puntuación.	71
3.1.4 Evaluación de cada ítem	74
4. PRNÓSTICO DE LA DEMANDA	84
5. SUPUESTOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA DEMANDA	87
6. MODELO DE INVENTARIOS	89
7. CONCLUSIONES	92
8. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	107

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Modelos de Gestión de Inventarios de Lento Movimiento _____	65
Tabla 2. Pesos de las Variables _____	69
Tabla 3. Pesos de las Categorías _____	71
Tabla 4. Categoría Operacional _____	73
Tabla 5. Categoría Administrativa _____	73
Tabla 6. Categoría de Seguridad _____	74
Tabla 7. Calificación del Impacto en la Operación _____	75
Tabla 8. Calificación de la Solución Paliativa _____	75
Tabla 9. Calificación de los Planes de Mantenimiento _____	76
Tabla 10. Calificación del Lead Time _____	76
Tabla 11. Calificación de la Variabilidad del Lead Time _____	76
Tabla 12. Calificación de la Frecuencia de Uso _____	76
Tabla 13. Calificación del Impacto en la Seguridad _____	77
Tabla 14. Calificación del Impacto en el Medio Ambiente _____	77
Tabla 15. Rangos de Criticidad _____	80

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Impacto en la Operación _____	41
Cuadro 2. Frecuencia de Uso _____	41
Cuadro 3. Procedimiento para Encontrar el Peso del Factor _____	53
Cuadro 4. Jerarquización de Variables por parte de los Expertos _____	68
Cuadro 5. Procedimiento Aplicado Para Encontrar el Peso de las Variables ____	68
Cuadro 6. Variables Agrupadas en Categorías _____	70
Cuadro 7. Asignación de Pesos a las Categorías _____	70
Cuadro 8. Suma de Puntos de las Categorías _____	71
Cuadro 9. Valores para Criticidad de un Ítem del Inventario _____	80
Cuadro 10. Criticidad de los Ítems _____	81
Cuadro 11. Grupos de Criticidad de los ítems _____	81
Cuadro 12. Nivel de Servicio para los Grupos _____	83
Cuadro 13. Pronóstico de Demanda _____	85
Cuadro 14. Política de Inventario _____	91

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación de La Mina _____	18
Figura 2. Organigrama Cerrejón _____	20
Figura 3. Personal MPT y PTC _____	20
Figura 4. Proveniencia de la Fuerza Laboral _____	21
Figura 5. Historia Cerrejón _____	23
Figura 6. Destino de las exportaciones _____	24
Figura 7. Macroprocesos Cerrejón _____	25
Figura 8. Mapa de Procesos Cerrejón _____	25
Figura 9. Camión Eléctrico de 320 Toneladas de Capacidad _____	27
Figura 10. Camión Mecánico de 240 Toneladas de Capacidad _____	27
Figura 11. Pala Eléctrica PC 8000 _____	27
Figura 12. Pala Hidráulica Hitachi Ex 5500 _____	27
Figura 13. Cargador _____	27
Figura 14. Tractor de Oruga Caterpillar _____	28
Figura 15. Tractor de Llantas Caterpillar _____	28
Figura 16. Motoniveladora Caterpillar _____	28
Figura 17. Tanquero Caterpillar _____	28
Figura 18. Mapa de Procesos de Mantenimiento _____	29
Figura 19. Lento Movimiento e Inactivo en el Inventario Total _____	33
Figura 20. Lento Movimiento e Inactivo (Incluyendo Seguridad) en el Inventario Total _____	33
Figura 21. Crecimiento del Inventario Inactivo de Cerrejón _____	34
Figura 22. Lento Movimiento e Inactivo (Incluyendo Seguridad) en el Inventario de Mantenimiento _____	34
Figura 23. Inventario Cerrejón por Departamentos _____	35
Figura 24. Crecimiento de Inventario Inactivo de Mantenimiento _____	35
Figura 25. Inventario de Repuestos de Mantenimiento _____	35

Figura 26. Matriz de Criticidad _____	40
Figura 27. Clasificación de la Demanda No-normal _____	61
Figura 28. Esquema para Tipificar la Demanda No-normal _____	62
Figura 29. Evaluación de Variables para un Ítem del Inventario _____	78
Figura 30. Comportamiento de los Costos del Inventario _____	90

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Resumen de la Evaluación de las Variables para la Determinación de la Criticidad de los ítems _____	106
ANEXO B. Pronóstico de la Demanda _____	109
ANEXO C. Parámetros de la Política de Inventario _____	123

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LENTO MOVIMIENTO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON LIMITED.\*

**AUTORA:** SARMIENTO GARCÍA MARÍA ISABEL. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** INVENTARIO DE LENTO MOVIMIENTO, PRONÓSTICO DE DEMANDA, MÉTODO SBA, POLÍTICA DE INVENTARIOS (T,R,Q), DEMANDA INTERMITENTE, CRITICIDAD.

### DESCRIPCIÓN:

El inventario de lento movimiento merece un tratamiento diferente al resto del inventario. En los últimos años se han realizado publicaciones importantes sobre el tema; sin embargo, aún es desconocido y por lo tanto no es usado en empresas Colombianas. El presente trabajo aborda el problema de inventario de lento movimiento para la empresa Carbones del Cerrejon Limited de manera teórica y práctica. Se hizo una amplia revisión bibliográfica sobre la gestión de inventarios de lento movimiento sistematizando los avances más destacados realizados en las dos últimas décadas.

Uno de los resultados más significativos es el modelo de pronóstico para la demanda de los productos que conforman el grupo de inventario de lento movimiento. Con el propósito de hallar los pronósticos de la demanda intermitente, la cual caracteriza al inventario del lento movimiento, se siguió el modelo SBA que ha demostrado ser superior empíricamente a otros métodos. El pronóstico de la demanda es un *input* al modelo de inventarios usado en este proyecto.

Así mismo, en el trabajo se presenta la metodología para determinar la criticidad de los productos (repuestos), la cual se usó para segmentar el inventario y permitió establecer las metas de nivel de servicio al cliente. El modelo propuesto en el trabajo se basa en la metodología del *Institute for Operations Research and the Management Sciences* para determinar cuantitativamente la criticidad. Para la política de inventario (T,r, Q) se modeló la demanda mediante la distribución de probabilidad gamma para el stock de seguridad.

Finalmente, en el proyecto se presenta una serie de recomendaciones a Cerrejón con el fin de mejorar los procesos sobre el manejo de inventario de lento movimiento.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Ph. D. Henry Lamos

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS OF SLOW MOVING INVENTORY OF THE MAINTENANCE DEPARTMENT AT CARBONES DEL CERREJON LIMITED COMPANY.\*

**AUTHOR:** SARMIENTO GARCÍA MARÍA ISABEL.\*\*

**KEY WORDS:** SLOW MOVING INVENTORY, DEMAND FORECASTING, SBA METHOD, (T,R,Q) INVENTORY POLICY, INTERMITTENT DEMAND, CRITICALITY.

### DESCRIPTION:

Slow-moving Inventory deserves a special treatment different than the rest of the inventory. Publications on the subject have emerged in recent years. However, this topic is still unknown and therefore not used in Colombian companies. The problem of slow-moving inventory is addressed in this paper for the Cerrejon Company with a theoretical and practical approach. An extensive literature review about management of slow-moving inventories was done summarizing the most important advances reached in the last two decades.

Demand Forecasting Model for products that belong to the group of slow-moving inventory is one of the most significant findings. In order to estimate the intermittent demand forecasting, which characterizes the slow moving inventory, The SBA method was used, which has empirically shown to be superior than others methods. The demand forecasting is an input to the inventory model used in this project.

In the same way, this paper presents the methodology for determining the criticality of the products (spare parts), which was used to segment the inventory and allowed to establish the level goals of customer service. The model proposed in the paper is based on the methodology of the Institute for Operations Research and the Management Sciences to determine criticality quantitatively. The demand was modeled through a gamma probability distribution for the safety stock in the inventory policy (T,r,Q).

Finally, a set of recommendations to Cerrejon are presented on this project to improve the processes of the slow-moving inventory management.

---

\* Degree Work.

\*\* Physic-Mechanics Engineering Faculty. School of Industrial and Business Studies. Director: Ph. D. Henry Lamos

## INTRODUCCIÓN

*“Un adecuado sistema de gestión de inventarios debe conocer las características de la demanda de los productos para los que se implanta. Si dichos productos presentan patrones de demanda intermitentes o de lento movimiento los modelos tradicionales deterministas y probabilísticos no son efectivos”.*<sup>1</sup>

La demanda del inventario de lento movimiento está caracterizada por presentar variabilidad en el tamaño de la demanda y presentar periodos de cero demandas. También es llamada demanda no-normal o demanda intermitente. *“Los patrones de demanda intermitente son muy difíciles de pronosticar y ellos son, más comúnmente, asociados con requerimientos de repuestos.”*<sup>2</sup>

El siguiente trabajo presenta una revisión de los diversos enfoques que ha recibido el inventario de lento movimiento para el pronóstico de la demanda y el modelo de inventarios en la literatura existente.

Además, teniendo en cuenta cómo la composición del inventario influye en las técnicas de gestión de existencias y cómo un punto de partida para el manejo del inventario con demanda intermitente debe abarcar detalles como el número de clases en que éste debe ser segmentado<sup>3</sup>, el capítulo 3 del presente trabajo llevado a cabo en la empresa Carbones del Cerrejón Limited, inicia con la presentación de un modelo que determina la criticidad de un repuesto, la cual, actúa como un indicador de la magnitud del problema que ocasiona la falla del

---

<sup>1</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING & INDUSTRIAL MANAGEMENT – CIO 2007. Modelos de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente.

<sup>2</sup> ALTAY, Nizeh y LITTERAL, Lewis. Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control. Reino Unido: Nezh Alta. 2011.

<sup>3</sup> PATCH, Wayne y WINTLE Fred. Dialogue, Dawson Dialogue; *Slow Moving Inventory, “All dressed up and nowhere to go”*. En: *IDII – Supply Chain Software Research & Consulting*. [en línea]. [http://www.idii.com/wp/dawson\\_inventory.pdf](http://www.idii.com/wp/dawson_inventory.pdf) (Acceso: Enero, 2011).

mismo y su ausencia en el almacén.<sup>4</sup> De la misma manera, permite obtener distintas categorías a las cuales le son asignados diferentes niveles de servicio al cliente.

Posteriormente, se hace la presentación de un método de pronóstico establecido de manera especial para la demanda intermitente y en seguida, se muestra un modelo de inventario que permite determinar el punto de re-orden y las cantidades a pedir en cada orden. Finalmente, se destacan algunas recomendaciones importantes para que mediante su adopción le permitan a la empresa obtener mejoras en su inventario de lento movimiento, al mismo tiempo que ofrecer un adecuado nivel de servicio al cliente.

El presente trabajo, puede ser visto, como una contribución a la reducción de la brecha entre la teoría y la práctica de la investigación operacional, en el área de gestión de inventarios de lento movimiento.

---

<sup>4</sup>REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de Equipos. Julio, 2005. *[en línea]*. <http://www.oilproduction.net/jornadasiapg/files/Sesion-1-Analisis%20de%20criticidad%20de%20equipos%20E.pdf> (Acceso: Enero, 2011).

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

**1.1.1 Generalidades**<sup>5</sup>. CARBONES DEL CERREJON LIMITED es una empresa ubicada en el Departamento de La Guajira dedicada a la exploración y explotación de yacimientos de carbón térmico de exportación que integra una de las operaciones de minería a cielo abierto más grandes del mundo, con el transporte de carbón en trenes de hasta 130 vagones por vía férrea y el cargue de carbón en buques de hasta 180 mil toneladas de capacidad en Puerto Bolívar. Está bajo la propiedad de las empresas BHP Billiton, Anglo American y Xstrata.

**Figura 1. Ubicación de La Mina**



Fuente: Página web Cerrejón

Cuenta con una producción anual de carbón de aproximadamente 32 millones de toneladas gracias a las 69 mil hectáreas donde se encuentran las cinco áreas de minería que son Zona Norte, Patilla, Zona Sur y Zona Central (Oreganal y Comunidad). Complementariamente, Cerrejón cuenta con una vía férrea de 150 Km. que le permite tener conexión entre la Mina y el terminal carbonífero de

<sup>5</sup> CARBONES DEL CERREJON LIMITED. Informe de Sostenibilidad 2009. [en línea]. Centro de Información e Investigaciones División de Comunicaciones de Cerrejón, 2010. [citado Enero, 2011]. Disponible en: [http://www.cerrejoncoal.com/formas/458/Informe\\_2009.pdf](http://www.cerrejoncoal.com/formas/458/Informe_2009.pdf) CERREJÓN.

Puerto Bolívar trasladando hasta 10 trenes diarios cargados con el mineral y un tren de servicio para repuestos, materiales y suministros. Puerto Bolívar goza de un canal navegable de 19 metros que facilitan la recepción de maquinaria, repuestos y demás suministros requeridos en la operación. La rata de cargue de carbón en promedio anualmente llega a los 6.100 t/h alcanzando un máximo de 9.000 t/h.

Adicionalmente, Cerrejón soporta sus actividades con sus dos aeropuertos ubicados uno en Puerto Bolívar y otro en La Mina. Las oficinas administrativas funcionan en La Mina, Bogotá y Barranquilla.

**1.1.2 Estructura Organizacional.**<sup>6</sup> Cerrejón cuenta con un comité de accionistas que vela por el cumplimiento del buen gobierno al interior de la compañía y que es el máximo órgano en la estructura organizacional. En la figura 2 se puede ver el organigrama que muestra al Presidente de la compañía con el cargo de más alto nivel jerárquico entre todos los empleados.

Cerrejón cuenta con algo más de 10 mil puestos de trabajo, de los cuales alrededor de 5000 empleados son directos y el resto son contratistas. La organización está estructurada en 18 departamentos que están representados cada uno por su respectivo gerente. La fuerza laboral está dividida en personal profesional (MPT) y personal técnico (PTC), este último constituyó el 83% del total de empleados como se muestra en la figura 3.

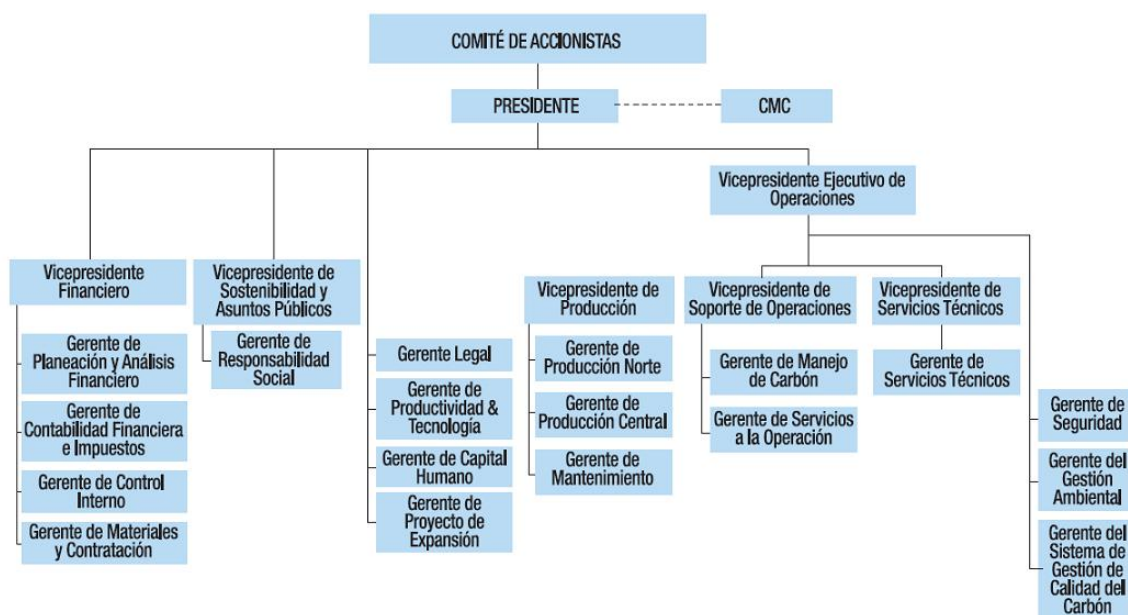
A pesar del amplio número de empleados, el número de cargos es relativamente pequeño. Entre el personal PTC los cargos que más se destacan son los de Operador y Técnico ya que actualmente acumulan 3879 puestos de trabajo, aunque se pueden mencionar los cargos de Soldador, Almacenista, Maquinista,

---

<sup>6</sup> CARBONES DEL CERREJON LIMITED. Informe de Sostenibilidad 2009. Centro de Información e Investigaciones División de Comunicaciones de Cerrejón, 2010. En: Página web Cerrejón. [en línea] (Acceso: Enero, 2011).

Herramientero, entre otros. Haciendo referencia al personal MPT es posible nombrar los cargos más sobresalientes como Analista, Supervisor, Superintendente, Jefe de División, Business Partner, Gerente, Vicepresidente, Vicepresidente Ejecutivo de Operaciones, Presidente, entre otros.

**Figura 2. Organigrama Cerrejón**



Fuente: Informe de Sostenibilidad 2009. Página web Cerrejón

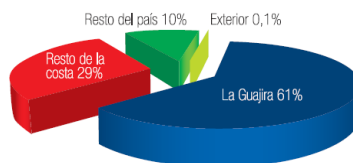
**Figura 3. Personal MPT y PTC**



Fuente: Autora

Cabe mencionar que de acuerdo con la política de contratación la mayor proporción de la fuerza laboral es proveniente de la Guajira, esto es, el 61% al terminar el año 2009, seguida de la región resto de la costa con el 29%.

**Figura 4. Proveniencia de la Fuerza Laboral**



Fuente: Informe de Sostenibilidad 2009. Página web Cerrejón

**1.1.3. Historia.**<sup>7</sup> 1975: El estado colombiano abrió licitación para la exploración y posible explotación de 32000 ha que hoy conforman la zona norte de Cerrejón. De las 17 empresas invitadas para tal fin, 5 fueron las que participaron y tan solo 3 cumplieron con los requisitos. La filial de Exxon llamada Intercor fue la ganadora.

1976: “Intercor” firma un contrato de asociación por 33 años con “Carbocol” (Carbones de Colombia), empresa creada para que representara a la nación, a fin de llevar a cabo la explotación de la zona norte de Cerrejón. Este contrato abarcó tres etapas: la primera fue de exploración que ocurrió entre 1977 y 1980, la segunda fue de construcción que abarcó desde 1981 hasta 1986 y la tercera etapa fue de producción que fue hasta 2009. Sin embargo, durante esta última etapa gracias a un acuerdo con el estado firmado en 1999, la producción se extendió hasta el año 2034, es decir, 25 años más.

1982: Iniciaron las obras del Puerto más importante en América Latina cuya profundidad alcanza los 19 metros con capacidad para el recibimiento de barcos con 180.000 t de peso muerto.

1983: La Unidad Residencial de La Mina llamada Mushaisa con capacidad para 500 familias empieza su funcionamiento.

---

<sup>7</sup>CARBONES DEL CERREJON LIMITED. Informe de Sostenibilidad 2009. Centro de Información e Investigaciones División de Comunicaciones de Cerrejón, 2010. En: Página web Cerrejón. [en línea] (Acceso: Enero, 2011).

1984: Se hace el primer viaje de carbón por vía férrea cuyo recorrido abarca 150 Kilómetros.

1985: Se embarcan anticipadamente las primeras 33.000 toneladas de carbón cuyo destino fue Dinamarca.

1986. Finaliza la construcción de El Cerrejón Zona Norte con una inversión de 3.000 millones de dólares y 6 años en tiempo.

1988-1999. Se firma acuerdo que contempla una extensión del contrato de asociación por 25 años más. Al mismo tiempo, se firma el acuerdo que permite el uso de la vía férrea a terceros.

2000: El estado vendió Carbocol S.A. a la sociedad Cerrejón Zona Norte S.A. conformada por BHP Billinton plc, Anglo American plc y Glencore International AG. Adicionalmente, ocurre la inauguración de la ampliación de la infraestructura del complejo.

2001: El segundo renglón de exportación de Colombia es ocupado por el carbón.


2002: BHP Billinton, Anglo American y Glencore se convierten en únicos propietarios por partes iguales de Carbones del Cerrejón Limited, Cerrejón al comprarle a Intercor la mitad restante.

2005: Barranquilla y Bogotá se convierten en las sedes administrativas principales de Cerrejón.

2006: Xstrata plc, compra la participación de Glencore.

2009: Cerrejón se ubica entre las 10 empresas más grandes de Colombia con un total de exportaciones acumuladas de 444.9 Millt. de carbón.

**Figura 5. Historia Cerrejón**

1976 - 1980		1981 - 1984	1985 - 1990	1991 - 1994	1995 - 1996	1997 - 1998	1999 - 2001	desde el 2002 hasta el 2006	desde el 2006 hasta el presente año
ZONA NORTE	EXXON MOBILE 50%							GLENCORE ANGL Y BILLITON (33%)	 Cerrejón Minería responsable
	CARBOCOL 50%								
ZONA CENTRO Y SUR	COMUNIDAD	DOMI - PRODECO - AUXINI	PRODECO	GLENCORE	GLENCORE 50%	GLENCORE 33%	GLENCORE ANGL Y BILLITON (33%)	ANGL 33% BHPB 33% GLENCORE 33%	
	OREGANAL		CARBONES DEL CARIBE	RIO TINTO	ANGLO 50%	ANGLO 33%			BILLITON 33%

Fuente: Informe de Sostenibilidad 2009. Página web Cerrejón

**1.1.4. Productos<sup>8</sup>.** Como producto de la variedad de mantos, la compañía obtiene un carbón cuyo poder calorífico puede oscilar entre 10,600 Btu/lib GAR y 11,300 Btu/lb GAR. Es un carbón triturado y sin lavar que por su alto rendimiento en procesos de combustión se encuentra bien posicionado en Europa y América del Norte. Este carbón es usado en su gran mayoría para la generación de energía eléctrica ya que es apetecido por su alta eficiencia y bajo contenido de azufre y ceniza, y en menor cantidad para la industria y la calefacción doméstica.

**1.1.5. Clientes.<sup>9</sup>** En el 2009, Cerrejón exportó 30.3 millones de toneladas de carbón. A Europa llegó la mayor parte del mineral correspondiente al 55.7%, en segundo lugar a Norte América con 17.3%, a Sur y Centro América les correspondió el 11.8% y el porcentaje restante fue para otros países. Este nivel de exportación generó 2231 millones de dólares de divisas y 280 millones de dólares de regalías. Los ingresos netos operacionales de la compañía fueron de 5.003.151 millones de pesos. De manera alterna, los activos fueron calculados en

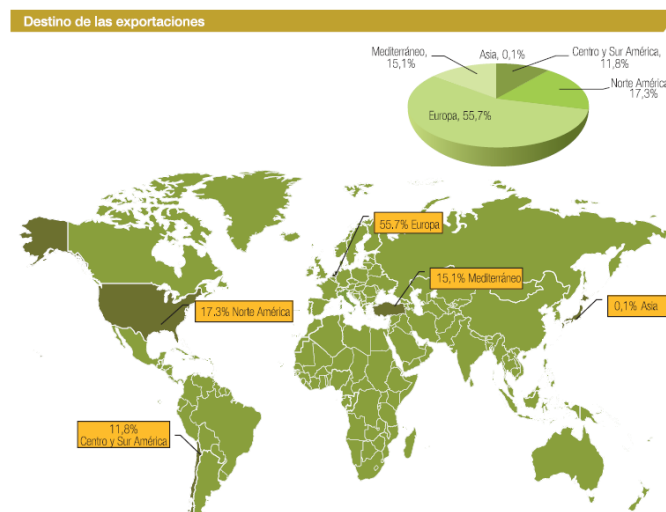
<sup>8</sup> CARBONES DEL CERREJON LIMITED. En: Página web. [http://www.cerrejoncoal.com/secciones/CERWEB/HOME/MENUPRINCIPAL/QUEHACEMOS/CARACTICAS YUS OSDEL CARBON/seccion\\_HTML.html](http://www.cerrejoncoal.com/secciones/CERWEB/HOME/MENUPRINCIPAL/QUEHACEMOS/CARACTICAS YUS OSDEL CARBON/seccion_HTML.html) (Acceso: Enero, 2011)

<sup>9</sup> CARBONES DEL CERREJON LIMITED. Informe de Sostenibilidad 2009. Centro de Información e Investigaciones División de Comunicaciones de Cerrejón, 2010. En: Página web Cerrejón. [en línea] (Acceso: Enero, 2011).

3.630.834 millones de pesos. El destino de las exportaciones es representado en la figura 6.

Los clientes que se benefician con el carbón de La Mina en su gran mayoría pertenecen al sector de generación eléctrica. En menor grado se encuentran en la industria siderúrgica en producción de silicio y finalmente unos pocos clientes usan el carbón en calefacción doméstica.

**Figura 6. Destino de las exportaciones**



Fuente: Informe de Sostenibilidad 2009. Página web Cerrejón

**1.1.6. Procesos.** Cerrejón es una compañía que en el cumplimiento de su estrategia de minería responsable identifica claramente en su cadena de valor siete macroprocesos los cuales son: dirección, mercadeo, minería, manejo de carbón, soporte a la operación, apoyo y administración. Esto de acuerdo con la figura 7.

De una manera más específica es posible visualizar cada proceso que es llevado a cabo por la organización, mediante el mapa de procesos que se muestra en la figura 8.

**Figura 7. Macroprocesos Cerrejón**

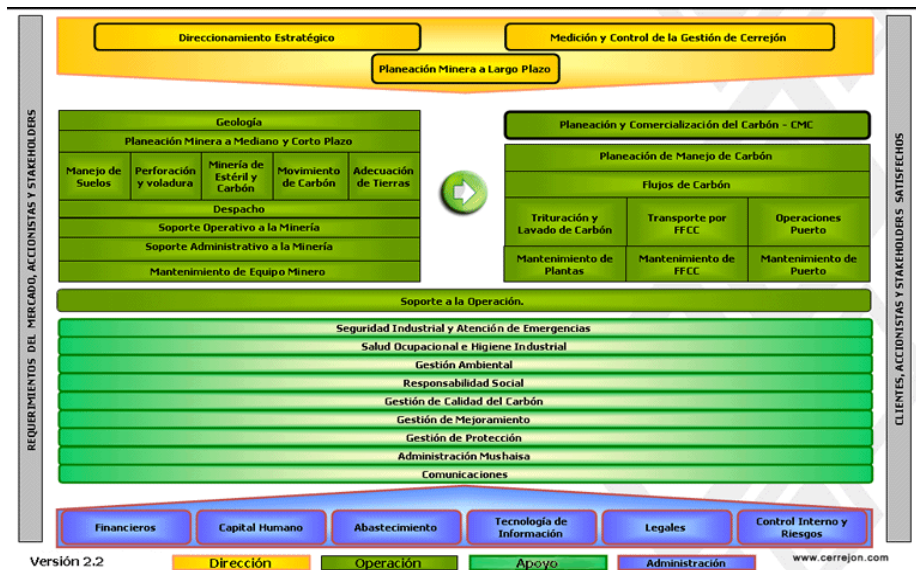


Fuente: Informe de Sostenibilidad 2009. Página web Cerrejón

Los procesos de Direccionamiento son pilares fundamentales sobre los cuales se soportan las estrategias de la organización como la de minería responsable y sostenibilidad, los de Direccionamiento Estratégico, Planeación Minera a Largo Plazo y Medición, y Control de la Gestión de Cerrejón.

En el mapa se evidencian tres elementos importantes de entrada que son los requerimientos del mercado, los accionistas y los stakeholders. En la salida están los clientes, los accionistas y los stakeholders.

**Figura 8. Mapa de Procesos Cerrejón**



Fuente: Cerrejón

En la minería, por mencionar algunos de los 10 procesos están los de Geología, Planeación Minera a Mediano y Corto Plazo, Minería de Estéril y Carbón, Movimiento de Carbón, Despacho, Soporte a la Operación Minera y Mantenimiento de Equipo Minero. Por supuesto que es imprescindible la Planeación y Comercialización del Carbón. En Manejo de Carbón se cuentan 8 procesos entre los que se menciona Planeación de Manejo de Carbón, Trituración y Lavado de Carbón, Transporte por FFCC y Operaciones Puerto.

El apoyo los brindan procesos entre los que se encuentran Seguridad Industrial y Atención de Emergencias, Gestión Ambiental, Responsabilidad Social y Comunicaciones.

Por otro lado, la Administración cuenta con procesos Financieros, de Capital Humano, de Abastecimiento, Tecnología de la Información, Legales y Control Interno y Riesgos.

Los procesos de Mantenimiento de Equipo Minero y Abastecimiento se profundizan un poco más debido a que el proyecto interviene en ellos.

**1.1.6.1. Mantenimiento de Equipo Minero.** Para la operación es indispensable contar con la disponibilidad de los equipos mineros a fin de realizar las labores de minería que permiten obtener el carbón. En el cumplimiento de este objetivo toma protagonismo el Departamento de Mantenimiento ya que la realización de sus funciones hace posible no solamente evitar que los equipos sufran algún tipo de falla sino que en caso de presentarse, corregirla en el menor tiempo posible para tratar de minimizar el impacto en el proceso productivo. En la operación se cuenta con tres clases de Equipo Minero que son:

Equipo de acarreo: agrupa los camiones encargados de transportar el mineral y el material estéril producto de la excavación. Por su funcionamiento existen dos tipos (flotas) de camiones, los Camiones Mecánicos con capacidad de 190 y 240

toneladas y los Camiones Eléctricos que tienen una capacidad de acarreo de 320 toneladas.

**Figura 9. Camión Eléctrico de 320 Toneladas de Capacidad**



Fuente: Autora

**Figura 10. Camión Mecánico de 240 Toneladas de Capacidad**



Fuente: Autora

Equipo de cargue: el equipo de cargue hace referencia a las Palas Eléctricas, Palas Hidráulicas y Cargadores que retiran tanto el material estéril como el carbón de los mantos y lo depositan en los camiones para que estos lo transporten a los botaderos y a los silos respectivamente.

**Figura 11. Pala Eléctrica PC 8000**



Fuente: Autora

**Figura 12. Pala Hidráulica Hitachi Ex 5500**



Fuente: Autora

**Figura 13. Cargador**



Fuente: Autora

Equipo de soporte: hace referencia a los tractores de oruga, tractores de llantas, tanqueros, traíllas, motoniveladoras y taladros. Entre sus funciones se encuentran respectivamente el mantenimiento del acceso de los camiones a los sitios de

cargue, el mantenimiento de carreteras, el riego de las vías con agua para controlar la emisión de partículas como polvo, la nivelación de las mismas y la perforación del suelo para la voladura.

**Figura 14. Tractor de Oruga  
Caterpillar**



Fuente: Autora

**Figura 15. Tractor de Lantas  
Caterpillar**



Fuente: Autora

**Figura 16. Motoniveladora  
Caterpillar**



Fuente: Autora

**Figura 17. Tanquero Caterpillar**

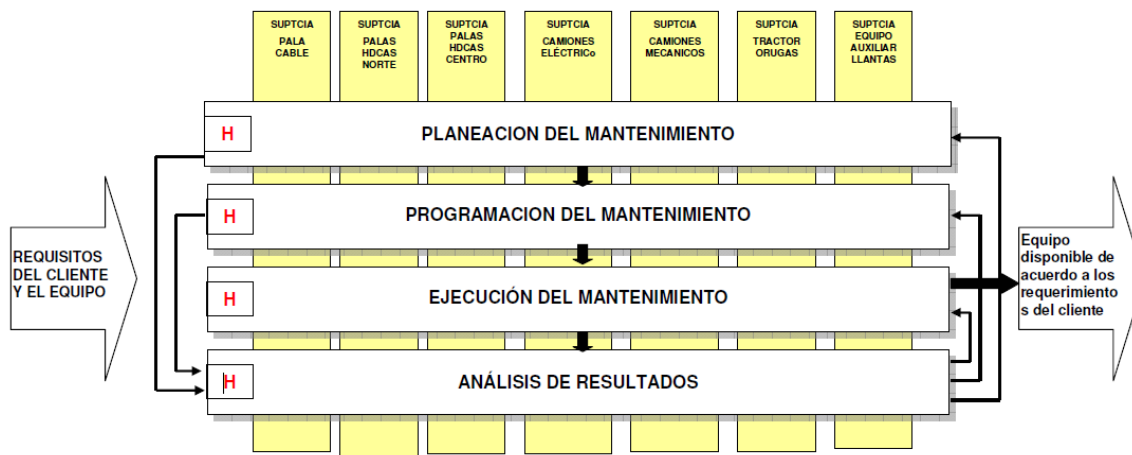


Fuente: Autora

En el área de mantenimiento, siete superintendencias claves de las 10 existentes atienden a cada una de las flotas con las cuales Cerrejón cuenta. Cada Superintendencia realiza las actividades requeridas en pro de la capacidad operativa de los equipos y con base en los requerimientos del cliente; dichas actividades se enmarcan en cuatro importantes procesos según el mapa de procesos del Departamento, estos son: Planeación de Mantenimiento,

Programación de Mantenimiento, Ejecución de Mantenimiento y Análisis de Resultados como se muestra en la figura 18.

**Figura 18. Mapa de Procesos de Mantenimiento**



Fuente: Cerrejón

El proceso de Planeación contempla diferentes subprocesos que permiten definir la estrategia de mantenimiento para cada flota. Esta estrategia incluye el involucramiento de un análisis cuidadoso del riesgo que representa el no tener disponible un repuesto o un material en el momento de ejecutar el mantenimiento. La misma sirve para que sean actualizados o creados los estándares y los APL's y consecuentemente sean hechas las proyecciones de las necesidades de los materiales requeridos así como sean calculados el ROP Y el ROQ.

Con base en el plan minero, en los estándares y APL's actualizados y en los requerimientos de los recursos, es posible la elaboración del plan anual de mantenimiento. Por otro lado, con base en el presupuesto aprobado, los reportes de condiciones de la flota, las horas de operación, los planes especiales y las recomendaciones de algunos analistas es posible la elaboración del plan mensual. El primero conlleva a la estimación de los materiales y sus periodos de consumo para el año y a la gestión de la disponibilidad de los mismos, mientras que el

segundo conlleva a la verificación de la disponibilidad de dichos recursos y su posible gestión en caso de requerirse.

En el proceso de planeación, el planeador es la persona del área de mantenimiento que tiene bajo su control estimar el consumo de los materiales cuando se realiza por primera vez la compra de los ítems requeridos, esto lo hace anualmente si el ítem es de bajo consumo y de forma mensual si es de alto consumo. De igual forma, junto con el analista del departamento de materiales tienen bajo su responsabilidad la estimación de los nuevos parámetros de reposición de inventario ROP Y ROQ.

El proceso de Programación tiene como objetivos realizar los programas para intervenir las flotas con las labores propias del mantenimiento y asegurar la logística y los recursos para la realización de las mismas. La ejecución abarca el desarrollo de las tareas dentro de los parámetros establecidos y el Análisis de Resultados se dirige a la búsqueda de oportunidades de mejoramiento o solución de problemas encontrados.

**1.1.6.2. Abastecimiento.** El proceso de Abastecimiento está a cargo del Departamento de Materiales que distribuye el ejercicio de sus tareas en 4 importantes áreas las cuales son: Compras, Administración de Inventarios y Almacenes y Recuperación de Inversiones, Logística y Contratación.

Haciendo alusión a la división de compras, esta cumple con su responsabilidad al efectuar la adquisición de los materiales y suministros. De manera alterna Contratación tiene bajo su responsabilidad los contratos de prestación de servicio y adquisición de bienes de la compañía. Por otro lado, Logística asume los roles requeridos para que la organización esté al día con los asuntos aduaneros, arancelarios, legislativos y de comercio exterior, también realiza el monitoreo a los proveedores de las órdenes de compra colocadas y se encarga del transporte de materiales y suministros comprados hasta el almacén, en donde la división de

Administración de Inventarios y Almacenes y Recuperación de Inversiones se encarga de su recepción, localización, custodia, despacho y almacenamiento.

Es precisamente la División de Administración de Inventarios la que interactúa de manera más estrecha con el Departamento de Mantenimiento en el proceso de planeación del mantenimiento ya que administra los inventarios que permiten satisfacer al cliente buscando que se haga la menor inversión posible.

En la planeación del inventario que está a cargo de la división de Administración de Inventarios, es posible encontrar la realización de actividades como la de estimar niveles adecuados de inventario, realizar pronósticos a mediano plazo de los mismos, generar estrategias para su manejo, declarar ítems obsoletos e implementar acciones que permitan proporcionar al cliente el nivel de servicio establecido evitando la presencia de excesos y/o faltantes.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Cuantiosas investigaciones se han desarrollado en torno a la gestión de inventarios y a las aplicaciones estadísticas en forma conjunta desde que por primera vez la oficina de investigación naval de California decidió en los años 50 patrocinar con recursos propios estudios en el área<sup>10</sup>. A pesar de la plétora de investigaciones en administración de inventarios, relativamente muy pocas han tenido como objeto el inventario llamado de lento movimiento<sup>11</sup> debido quizás, a la falta de cifras históricas observables y a que este tipo de inventario no genera la

---

<sup>10</sup> GIRLICH, H. y CHIKAN, A. The Origins of Dynamic Inventory Modeling under Uncertainty: The men, their work and the connection with the Stanford Studies. En: International Journal of Production Economics, 2001. Vol. 71.

<sup>11</sup>HOLLIER, R. H., MARK, K. L., y LAM, C. L. Continuous review (s, S) policies for inventory systems incorporating a cut-off transaction size. En: International Journal of Production Research, 1995. Vol. 33.

mayor parte de la demanda ya que, a pesar de ser una porción considerable del inventario presenta demanda baja e infrecuente<sup>12</sup>.

Por otro lado, la globalización, el incremento acelerado en la innovación y diversificación de productos y referencias han hecho que los modelos clásicos de pronóstico de demanda se hayan deteriorado<sup>13</sup>.

Lo anterior sumado al hecho de que las formas tradicionales de pronosticar la demanda aumentan el nivel inventario de lento movimiento<sup>14</sup> y a que los ERP<sup>15</sup> a pesar de contar con un desempeño bueno para pronosticar el inventario rápido funcionan mal para los artículos de lento movimiento<sup>16</sup> ya que éstos se basan en la historia de la demanda; entre otras cosas, pudo conllevar a que el nivel de inventario de repuestos en CARBONES DEL CERREJON LIMITED cerrara el año 2010 con un valor cercano a los 94.9 Millones de dólares, de los cuales 46.3 millones, esto es, al 49% del inventario total de repuestos fuera de lento movimiento ( incluyendo inactivo, el cual corresponde a 24.6 Millones), tal como se muestra en la figura 19.

Adicionalmente, un análisis un poco más profundo que incluyó los ítems de seguridad reveló que de los 94,9 Millones de dólares invertidos en el inventario de repuestos, el 5% correspondió a inventario nuevo y el 59% a inventario de lento

---

<sup>12</sup> JOHNSTON, F., BOYLAN, J. y SHALE, E. An examination of the size of orders from customers, their characterization, and the implications for inventory control of slow moving items. En: Journal of the Operational Research Society. Vol. 54

<sup>13</sup> MIRAGLIOTTA, G., y STAUDACHER, A. P. (2004). Exploiting information sharing, stock management and capacity over sizing in the management of lumpy demand. En: International Journal of Production Research, Vol.42.

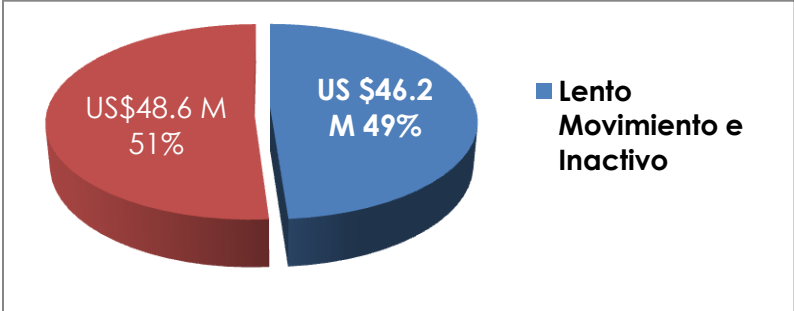
<sup>14</sup> DOUGLAS, Matthew. Reliable Prediction Intervals and Bayesian Estimation for Demand Rates of Slow-Moving Inventory. Tesis de Doctorado. Denton: University of North Texas, 2007.

<sup>15</sup> Enterprise Resource Planning por sus siglas en inglés, es un sistema de planificación de recursos de la empresa.

<sup>16</sup> RAZI, M. y TARN, J. An applied model for improving inventory management in ERP systems. En: Logistics Information Management, Vol.16

movimiento (incluyendo inactivo) por lo que el inventario relativamente sano lo constituyó la cifra equivalente a 36%, esto de acuerdo con la figura 20.

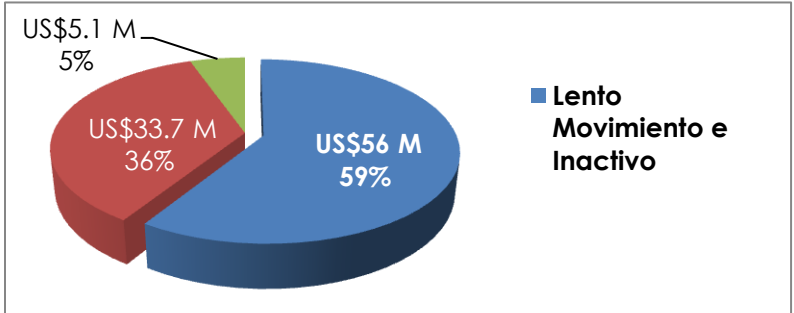
**Figura 19. Lento Movimiento e Inactivo en el Inventario Total**



Fuente: Autora

El análisis además reveló que en los últimos dos años el inventario inactivo (repuestos con cero demanda en el último año) tuvo una tasa de crecimiento anual compuesta igual a 30.4% (ver figura 21).

**Figura 20. Lento Movimiento e Inactivo (Incluyendo Seguridad) en el Inventario Total**

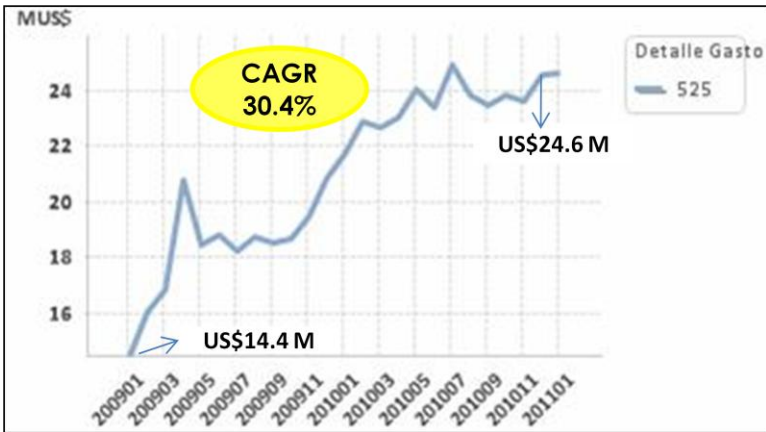


Fuente: Autora

En general, los repuestos que la compañía conserva son fundamentales para el mantenimiento y preservación de los equipos mineros con los que se garantiza la disponibilidad requerida por el área de Producción, responsable por la operación de los mismos en los diferentes procesos de minería. Entre los repuestos que

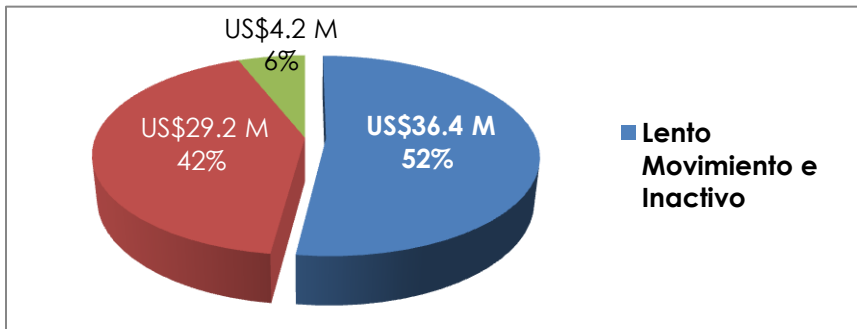
pertenecen al Departamento de Mantenimiento se encuentra una importante cantidad de ítems con movimiento lento correspondiente al 52% (ver figura 22); no obstante siendo éste el departamento con mayor acumulación de inventario inactivo en la empresa como se puede observar en la figura 23, ha experimentado un crecimiento en los últimos dos años a una tasa anual compuesta de 39,7% de sus inactivos (ver figura 24), cifra superior al crecimiento del inventario inactivo de toda la compañía y muy por encima del crecimiento del inventario de Mantenimiento el cual tuvo una tasa de crecimiento anual compuesta del 4.3% (ver figura 25).

**Figura 21. Crecimiento del Inventario Inactivo de Cerrejón**



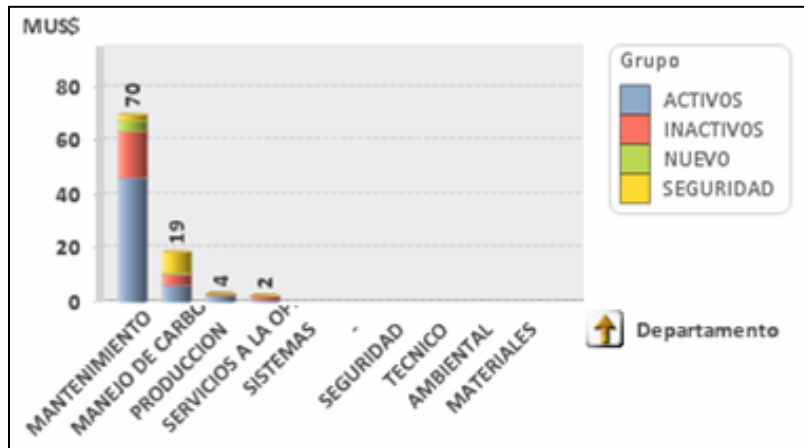
Fuente: Qlick View – Cerrejón

**Figura 22. Lento Movimiento e Inactivo (Incluyendo Seguridad) en el Inventario de Mantenimiento**



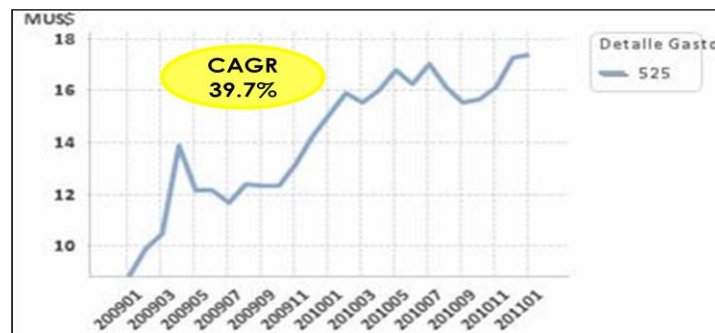
Fuente: Autora

**Figura 23. Inventario Cerrejón por Departamentos**



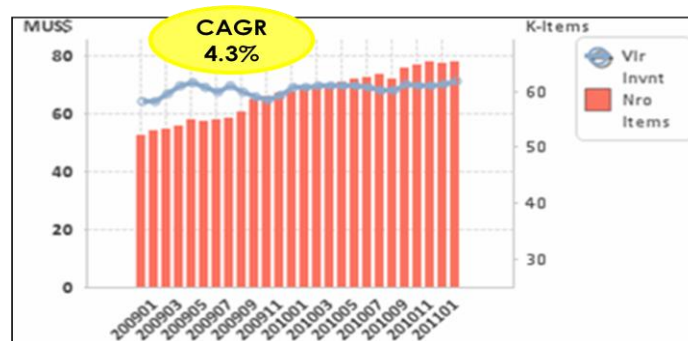
Fuente: Qlick View – Cerrejón

**Figura 24. Crecimiento de Inventario Inactivo de Mantenimiento**



Fuente: Qlick View – Cerrejón.

**Figura 25. Inventario de Repuestos de Mantenimiento**



Fuente: Qlick View - Cerrejón

Tomando como base que mantener un nivel de servicio adecuado es importante,<sup>17</sup> las empresas compensan los pronósticos pobres aumentando los activos o el capital de trabajo<sup>18</sup> lo que conlleva a mayores costos asociados entre los cuales es posible mencionar el del capital invertido, por obsolescencia, del espacio físico, de administración y manejo del inventario, por daños, robos o pérdidas de los mismos, los asociados a faltantes (i.e. no disponibilidad de equipos y ordenes urgentes) y aumento de los costos de ordenar por un mayor número de órdenes de compra. De igual manera, el flujo de caja se ve afectado negativamente y la capacidad de cumplir con los pedidos puede disminuir.

Teniendo en cuenta que el dinero invertido en el inventario de lento movimiento del Departamento de Mantenimiento es sin duda alguna una suma bastante considerable, es por ende apropiado y muy razonable el querer disminuirlo, entre otras cosas porque constituye un capital de trabajo improductivo al ser una inversión de capital que no está en continuo movimiento y peor aún, que puede estar caracterizada por la ausencia de rotación.

Como es sabido, uno de los imperativos de las empresas es reducir los requerimientos de capital con el fin de hacer más eficiente las operaciones en la organización. Sin embargo, esta estrategia puede desmejorar la calidad de servicio al no suministrar a tiempo los requerimientos solicitados por la operación, por eso es vital proporcionar los suministros y materiales requeridos para la ejecución de las actividades diarias de atención, mantenimiento y preservación de los diversos equipos productivos ya que son éstos los que finalmente permiten materializar las oportunidades de negocio de las empresas.

En congruencia con el planteamiento anterior, la búsqueda para obtener un mayor rendimiento sobre los activos impone el reto de encontrar el balance entre la

---

<sup>17</sup> MIRAGLIOTTA, G. y STAUDACHER, A. Exploiting information sharing, stock management and capacity over sizing in the management of lumpy demand. *En: International Journal of Production Research*, Vol. 42.

<sup>18</sup> DOUGLAS, Matthew. *Reliable Prediction Intervals and Bayesian Estimation for Demand Rates of Slow-Moving Inventory*. Tesis de Doctorado. Denton: University of North Texas, 2007.

reducción del inventario de repuestos y la atención satisfactoria de las necesidades de los clientes. Así, reducir los requerimientos del capital de trabajo evitando que se afecte la operación minera por la disponibilidad de los recursos, se convierte para CARBONES DEL CERREJON LIMITED en una necesidad y para la autora del proyecto en una oportunidad.

### **1.3. ALCANCE DEL PROYECTO**

Entregar recomendaciones específicas para lograr la reducción del inventario de lento movimiento de repuestos presentado a Diciembre de 2010 en la empresa CARBONES DEL CERREJON LIMITED mediante la revisión de los criterios actuales de segmentación del inventario y usando métodos de cálculo para la determinación de la cantidad y el punto de re-orden más acordes con el comportamientos de dichos ítems.

Es importante resaltar que el alcance del proyecto no incluye la implementación de las recomendaciones o acciones sugeridas para reducir los costos asociados con el inventario de lento movimiento. Sin embargo, se llevará a cabo el trabajo con algunos ítems con el fin de hacer el ejercicio completo que posteriormente puede ser replicado en el resto del inventario.

### **1.4. OBJETIVOS**

**1.4.1. Objetivo General.** Elaborar un modelo de inventario para productos de lento movimiento para la empresa CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Comparar diferentes metodologías para el estudio sobre el inventario de lento movimiento.

- Elaborar un modelo de segmentación teniendo en cuenta la criticidad de los ítems del inventario caracterizado como de lento movimiento.
- Construir un modelo de inventario para determinar el nivel de servicio más apropiado para cada segmento.
- Elaborar modelos de pronóstico para la demanda de productos de lento movimiento.
- Construir un modelo de inventario para productos de lento movimiento para determinar la política óptima de pedido (Q,R).
- Generar recomendaciones que permitan disminuir el inventario de lento movimiento.

## 1.5. DESARROLLO METODOLÓGICO

**1.5.1. Revisión Bibliográfica.** El proyecto inició con una revisión bibliográfica sobre el tema. Se consideró la literatura existente relacionada con el manejo del inventario de lento movimiento o lo que es lo mismo, el inventario con demanda intermitente en el marco de la investigación así como el desarrollo en materia de transferencia tecnológica. Además de las consideraciones anteriores se contó con la orientación del profesor de Investigación Operacional y Gerencia de Operaciones de la Universidad de “Salford” Aris Syntetos<sup>19</sup>

**1.5.2. Revisión Empresarial.** Se llevó a cabo un aprendizaje del manejo del inventario en la empresa por parte de la autora del proyecto y se apreció el tratamiento que recibe el inventario con demanda intermitente bajo un contexto administrativo y en el entorno real de Cerrejón.

---

<sup>19</sup> Aris Syntetos es Ph.D en Investigación Operacional. Se desempeña como co-director de “*Journal of Management Mathematics*” y es miembro del “Centre for Operations Management, Management Science and Statistics.” Sus investigaciones están relacionadas principalmente con pronóstico y gestión de inventarios en la cadena de suministro. Perfil disponible en: <http://www.business.salford.ac.uk/staff/aris>

**1.5.3. Aplicación.** Se desarrollaron los métodos y modelos que fueron encontrados en la primera fase. La aplicación de los modelos se hizo para algunos ítems del inventario haciendo posible replicar el ejercicio con el resto del inventario.

**1.5.4. Documentación.** Se plasmó toda la información relevante que se generó mediante el desarrollo de las etapas anteriores.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

**2.1.1. Segmentación.** Actualmente la empresa clasifica los ítems dentro de una de las tres posibles categorías existentes para determinar la criticidad de los mismos, las cuales se presentan a continuación:

A = Vitales o De Seguridad.

B = Críticos.

C = Otros.

Para posicionar un artículo del inventario al momento de la catalogación se considera la matriz mostrada de la figura 26 que tiene en cuenta los factores de impacto en la operación y frecuencia de uso del ítem. El primero consta de tres niveles: alto, medio y bajo. La diferencia entre ellos se muestra en el cuadro 1.

**Figura 26. Matriz de Criticidad**

Impacto	Alto	Seguro	Seguro	Vital	Vital
	Medio	Otros	Otros	Otros	Crítico
	Bajo	Otros	Otros	Otros	Otros
		Cero	Baja	Media	Alta
		Frecuencia			

Fuente: Cerrejón

El factor de frecuencia, se mide por el número de meses en que el ítem es consumido en los últimos 12 meses. Con base en el anterior criterio, se han

definido cuatro posibles niveles que son: cero, baja, media y alta. Los valores o rangos de valores que conforman cada nivel se muestran en el cuadro 2.

**Cuadro 1. Impacto en la Operación**

<b>Impacto en la Operación</b>	
<b><i>Nivel</i></b>	<b><i>Diferencia</i></b>
Alto	La no disponibilidad del ítem al momento de ser requerido, puede <u>interrumpir totalmente</u> un proceso o flota <u>clave</u> de la operación.
Medio	La ausencia del ítem en el inventario puede <u>interrumpir parcialmente</u> un proceso o flota clave de la operación.
Bajo	La ausencia de un ítem de esta categoría <u>no afecta</u> un proceso o flota clave de la operación independiente de si puede interrumpir o no algún otro proceso o flota de servicio.

Fuente: Autora

**Cuadro 2. Frecuencia de Uso**

<b>Frecuencia de Uso</b>	
<b><i>Nivel</i></b>	<b><i>Intervalo de Valores</i></b>
Cero	Cero
Baja	Mayor que cero y menor o igual a tres
Media	Mayor que tres y menor o igual a 7
Alta	Mayor o igual a ocho

Fuente: Autora

Los ítems cuya frecuencia de uso es cero se denominan inactivos y son objeto de seguimiento especial, ya que son ítems potencialmente obsoletos, es decir, que se pueden convertir en ítems obsoletos y que en dado caso, deberían no estar en el inventario.

Los procesos o flotas consideradas como claves de la operación son:

- Perforación y Voladura.
- Cargue de Estéril y Carbón.
- Acarreo de Estéril y Carbón.
- Trituración y Lavado de Carbón
- Transporte Ferroviario.
- Apilamiento, Reclamo y Embarque de Carbón en Puerto Bolívar.

Con base en lo mostrado en la figura 26, se determina si un ítem toma la letra A, B ó C para criticidad. Es decir, los ítems posicionados en las casillas de color rojo son llamados ítems vitales ya que tienen un alto impacto en la operación y una frecuencia de uso media o alta. Del mismo modo, los ítems ubicados en las casillas verde oscuro son llamados ítems de Seguridad ya que la ausencia de ellos impacta altamente en la operación pero su frecuencia de uso es nula o baja. Para estos dos tipos se les asigna la letra A. Los ítems catalogados como críticos son, según la matriz, aquellos cuya frecuencia es alta y el impacto en la operación es medio; estos ítems tienen asignada la letra B. Finalmente, al resto de ítems les corresponde la letra C.

La metodología para determinar la criticidad de un ítem descrita previamente fue implementada hace relativamente poco tiempo en la organización y está fundamentada en nada más que la experiencia. Además de ser ésta una manera cualitativa y simple de hallar un factor tan importante como es la criticidad de un ítem del inventario, presenta debilidades en la calificación de los mismos definidos como críticos, ya que supone únicamente el caso de que la ausencia del mismo tenga un impacto en la operación medio y que la frecuencia de uso de dicho ítem sea alta, es decir, impactaría en un proceso o flota clave de la operación, pero para que sea crítico su frecuencia debe ser alta. Sin embargo, realmente la experiencia de Cerrejón ha demostrado que el ítem puede tener una frecuencia de

uso media, baja o incluso nula y seguir siendo crítico ya que sigue impactando en un proceso o flota clave de la operación.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y de manera adicional considerando que la actual metodología no usa algún tipo de ponderación y que podría mejorarse si se usa un modelo cuantitativo en vez de uno simplemente cualitativo como el vigente, es posible evidenciar la necesidad de proponer un cambio en la misma.

En este punto cabe mencionar, que Cerrejón una vez determina la criticidad de sus ítems, hace una segunda categorización de acuerdo al valor uso anual que tuvo el ítem. Esta vez, usando las letras desde la A hasta la D. El valor uso anual que corresponde a los ítems A es superior a 11KU\$D. El B, está entre 11 y 1200U\$D. EL C, entre 1200 y 0 USD. Finalmente, la letra D es asignada a los ítems que no tienen algún uso anual. Con ello, forma una clasificación de criterio múltiple: AA, AB, AC, AD, BA, BB, BC, BD, CA, CB, CC y CD.

**2.1.2 Reposición del Inventario.** Cerrejón, mediante su proceso de reposición de inventario llevado a cabo periódicamente por los analistas de la división de administración del inventario, procura mantener los niveles óptimos de los repuestos y garantizar un nivel de servicio acordado previamente con el departamento cliente que en este caso es Mantenimiento. Dicho proceso es efectuado gracias a una herramienta tecnológica que proporciona no solo soluciones de gestión de activos (EAM) sino también una planificación de recursos dentro de la organización (ERP) llamada MIMS o Mincom Ellipse.

En el tema del control de existencias, MIMS proporciona una serie de combinaciones de algoritmos para calcular la cantidad a ordenar (ROQ) y el punto de re-orden (ROP) de cada ítem del inventario con base en los patrones históricos de la demanda. En total son 19 combinaciones conformadas por 6 algoritmos asociados al ROP y 2 al ROQ, además de las opciones manuales para cada uno.

Entre los algoritmos proporcionados para el ROP se encuentran: promedio variable de 12 periodos, matriz ABC, uso de pronósticos, promedio variable modificado, suavización exponencial simple y suavización adaptable. Por otro lado, los algoritmos para determinar las cantidades de pedido son: cantidad económica de ordenes (EOQ) y cantidad de la orden (OQ). La información requerida por los algoritmos como los costos de almacenar y de ordenar, el lead time, el nivel de servicio entre otros, es suministrada como una entrada al sistema.

La herramienta trae una ventana que le permite al usuario simular que pasaría si se opta por una u otra determinada combinación algorítmica y de este modo obtener la solución que más se “ajusta” mediante la “señal de seguimiento” o lo que es lo mismo, el coeficiente de desviación medio porcentualmente; ya que éste deberá ser el de menor valor.

Los algoritmos mencionados previamente se usan si los ítems pertenecen a una categoría llamada “automáticos”; ya que la misma cuenta con la característica de alojar ítems con regularidad y frecuencia de la demanda. En caso de ser irregular, es posible asignarle la categoría de “fijos” ya que así quedan tanto el ROP como el ROQ. Otra categoría usada para ítems cuyas existencias en el almacén pueden ser igual a cero es la de “manuales”; por no requerir mantener existencias en el almacén, las solicitudes de los clientes dan lugar a la reposición. Finalmente, la categoría “no reponer” está conformada por ítems declarados obsoletos o renglones de referencia (componentes reparados, obsoletos por el fabricante, entre otros).

## 2.2 MARCO TEORICO

**2.2.1. Inventario.** Es posible definir el inventario como la “cantidad de existencias de un bien o recurso cualquiera usado en una organización.”<sup>20</sup>

Un sistema de inventario es un conjunto de políticas y controles que permiten regular los niveles del inventario y establecer qué niveles se deben mantener, cuando se deben reabastecer las existencias y cuál debe ser el volumen de los pedidos.

**2.2.1.1 Tipos de Inventario**<sup>21</sup>.El inventario de acuerdo a su naturaleza o características físicas se puede diferencia de la siguiente forma:

- Inventario de Materia Prima: son todos aquellos materiales que no han sufrido ninguna transformación por el proceso productivo de la empresa.
- Inventario de Producto en Proceso: como su nombre lo indica, hace referencia a los materiales que han sido modificados por el proceso productivo de la empresa, pero que aún no están aptos para su venta.
- Inventario de Producto Terminado: son aquellos que fueron resultado de una transformación y que están destinados para la venta.
- Inventario de Materiales para Soporte de las Operaciones, o piezas y repuestos: son aquellos elementos que aunque no forman parte directa del proceso productivo de la empresa, hacen posible las operaciones productivas de la misma.

**2.2.1.2 Costos asociados al inventario.** Entre los costos que se le asocian al inventario y que afectan su gestión se encuentran:<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> CHASE, Richard. Administración de la Producción y Operaciones. 10ª ed. México: Mc Graw Hill, 2004.

<sup>21</sup>FERNÁNDEZ SEGURA, José. Mejoramiento del control de inventarios en la organización Codinter Ltda. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Departamento de Sistemas de Producción, 2008. 15 p.

<sup>22</sup> SARABIA, Ángel. La Investigación Operativa. España: Universidad Pontificia de Comillas, 1996. p. 432

- Costos de mantener: a este grupo corresponden todos aquellos costos asociados a las instalaciones de almacenaje, el manejo, el seguro, el hurto, los daños, la obsolescencia, la depreciación, los impuestos y el costo de oportunidad del capital. En la mayoría es posible ser presentado como un porcentaje del valor de los artículos almacenados.
- Costos de preparación, lanzamiento u ordenar: a esta categoría pertenecen los costos asociados al hecho de solicitar al proveedor uno o más artículos a fin de reabastecer el inventario. Están dentro los costos por elaborar las especificaciones de la orden, su registro y seguimiento, procesamiento de facturas y demás costos administrativos y de personal generados por este concepto.
- El costo de ruptura: asociado a la situación derivada de no poder satisfacer la demanda de algún cliente por carecer de la cantidad suficiente del artículo solicitado en el inventario.

**2.2.1.3 Inventario de lento movimiento.** Algunos expertos en el tema de inventarios aseguran que lo que constituye “lento movimiento” puede variar de una organización a otra. Un interesante artículo publicado por una prestigiosa e influyente firma de consultoría cuya trayectoria cuenta 25 años, *Dawson Consulting Group*,<sup>23</sup> afirma que desde una perspectiva de determinación de requerimientos, los ítems de lento movimiento pueden ser calificados como ítems que tienen menos de seis meses de demanda en los anteriores 12 meses. Sin embargo, aclara que por un lado, lo que es lento movimiento en el inventario de los comestibles no puede ser calificado como lento movimiento en otras industrias. Están por ejemplo, en el otro extremo, algunas organizaciones como las de MRO por sus siglas en inglés, (*Manintenance, repair and Operation*) donde la mayoría de ítems comunes pueden ser considerados como de lento movimiento. Finalmente, el autor concluye la idea puntualizando en que el amplio criterio de

---

<sup>23</sup> PATCH, Wayne y WINTLE Fred. Dialogue, Dawson Dialogue; *Slow Moving Inventory*, “All dressed up and nowhere to go”. En: *IDII – Supply Chain Software Research & Consulting*. [en línea]. [http://www.idii.com/wp/dawson\\_inventory.pdf](http://www.idii.com/wp/dawson_inventory.pdf) (Acceso: Enero, 2011).

lento movimiento está basado en la capacidad para aplicar técnicas de pronósticos basadas en series de tiempo, ya que en esencia los ítems de lento movimiento son aquellos que no pueden ser pronosticados de una manera normal.

Entonces, la necesidad de considerar el inventario de lento movimiento, SMI por sus siglas en inglés (*Slow Moving Inventory*), y el énfasis que se les debe dar a los ítems depende de la naturaleza del inventario. Según los autores, pareciera que la política más adecuada para los ítems de lento movimiento es eliminarlos. Sin embargo, comprenden que en el ámbito MRO es poco viable eliminarlos totalmente; y afirman que concebir y aplicar métodos de gestión apropiados es necesario.

Cabe notar, de acuerdo con el autor, que los mayormente beneficiados con la revisión de las prácticas de gestión de SMI son entre otras la industria automotriz y las organizaciones que de alguna forma proporcionan repuestos a sus clientes.

- **Manejo del inventario de lento movimiento:**<sup>24</sup> De acuerdo con las contribuciones literarias de *Dawson Group Company*, dada las peculiaridades en los patrones de demanda y la falta de datos para soportar pronósticos de series de tiempo, se hace necesario manejar el SMI de una forma diferente. Se hace imprescindible formular y utilizar políticas, procedimientos, sistemas y habilidades diferentes para aprovechar oportunidades disponibles en la operación. Un enfoque desarrollado por *Dawson Consulting* puede ayudar a las empresas en este tema, el cual se menciona a continuación:

**Segmentación:** La composición del inventario y el propósito del mismo influyen en las técnicas de gestión de inventario. Como se dijo anteriormente, el concepto de lento movimiento varía de una organización a otra y la necesidad de mantener

---

<sup>24</sup> PATCH, Wayne y WINTLE Fred. Dialogue, Dawson Dialogue; *Slow Moving Inventory*, "All dressed up and nowhere to go". En: *IDII – Supply Chain Software Research & Consulting*. [en línea]. [http://www.idii.com/wp/dawson\\_inventory.pdf](http://www.idii.com/wp/dawson_inventory.pdf) (Acceso: Enero, 2011).

este inventario también lo hace. Es por esto que determinar la cantidad de inventario de lento movimiento debe ser el primer paso del proceso. Encontrar detalles tales como en cuantas clases debe ser segmentado el inventario, por ejemplo, inventario crítico e inventario no crítico y cuál debe ser la disponibilidad de los ítems (nivel de servicio).

En términos generales, ítems de lento movimiento son aquellos con menos de 6 meses de demanda en los últimos 12 meses. Este criterio viene de la funcionalidad del pronóstico. Esencialmente, diferentes técnicas de pronósticos se requieren para determinar el nivel de servicio y los requerimientos de reposición para ítems de lento movimiento.

Una vez se haya determinado los requerimientos de reposición “óptimo” de SMI, el problema se traslada a “¿Qué hacer?”. Para algunas empresas vender es algo apropiado para lograr ganancias rápidas eliminando de inmediato los ítems lentos del inventario. El ingreso que dichos ítems generan comparado con los costos de manipularlos y manejarlos no justifica mantenerlos. Habrá empresas para las que los ítems de lento movimiento representan una porción considerable del inventario y no es apropiado considerar expulsar estos ítems juntos.

**Guías:** El SMI, como se ha mencionado previamente, debe soportarse con políticas y procedimientos. Los requerimientos de la política incluyen:

**Segmentación:** incluye la clasificación del inventario en grupos de acuerdo con una lógica. Incluye el detalle de por qué existe y como deben ser manejados los ítems.

**Nivel de Servicio:** incluye detalles en los niveles de servicio. Por ejemplo, 95% para ítems críticos y 85% para ítems no críticos.

*Introducción:* comprende las guías para la introducción de nuevos ítems al inventario. Qué cantidades a ordenar serán usadas y cómo los parámetros de cantidad a ordenar estarán configurados.

*Revisión:* incluye guías para la necesidad y propósito de revisar el inventario. La revisión de actividades puede incluir la necesidad de investigar precios, segmentación y nivel de servicio.

*Desempeño:* comprende los indicadores que son utilizados para medir el desempeño del inventario, por qué y cuales puntos de referencia se están usando para determinar un desempeño aceptable.

***Implementación:*** Las políticas y procedimientos definitivamente ayudan a optimizar el desempeño del inventario. Sin embargo, la ayuda de los sistemas también es requerida. Determinar el número de ítems de lento movimiento, especialmente cuando la cantidad de demanda fluctúa significativamente puede presentar dificultades. A no ser que el administrador de inventarios tenga apoyo de un sistema, una respuesta demasiado conservadora usualmente resulta en promover excesivamente los excedentes de SMI.

La sofisticación depende de la organización, ya que puede variar de una empresa a otra. La cantidad de SMI contribuye a la respuesta. SMI de millones de dólares puede justificar la implementación o actualización de la funcionalidad DRP (*Distribution Resource Planning*). Alternativamente, un sistema que puede constituir una hoja de cálculo o base de datos que incorpore una técnica apropiada, que descargue información de requerimientos dentro de un sistema de gestión de inventarios puede ser apropiado.

Lo que fundamenta una gestión fuerte de SMI es el desarrollo y la obtención de habilidades del personal que administra el inventario. Los profesionales necesitan entender el uso de algoritmos, las variables claves que se consideran y cómo obtener el máximo rendimiento fuera de sus sistemas. El personal directamente

involucrado con ordenar necesita comprender las medidas de desempeño apropiadas para el SMI y ser entrenado en tan importante aspecto.

**Ítems de Seguridad:** Los ítems de seguridad normalmente comprenden una porción de SMI. Lo que constituye un ítem de seguridad y el rol que éstos juegan varía significativamente. Sin embargo, lo que parece ser constante es una aproximación extremadamente conservadora a la cantidad de ítems que se tienen.

Según *Dawson Consulting*, su amplia experiencia sugiere que en las situaciones donde se debe calcular un ítem de seguridad, prevalece la evidencia anecdótica. Comentarios típicos como “recuerdo cuando necesitamos uno de estos...” y “recuerdas el problema causado cuando no pudimos suministrar...” se usan a menudo para determinar la cantidad de ítems de seguridad. Como resultado, la cantidad estimada de dichos ítems por lo general es conservadora.

Los ítems de seguridad deben ser calculados mejor que sugeridos. Éstos ítems suelen representar el “tira y hala” de la gestión de inventarios. El inventario se oculta en la categoría de de seguridad debido a que la necesidad y cantidad raramente es cuestionada. Por lo tanto, la falta de políticas, procedimientos y herramientas en relación al SMI únicamente promoverá este enfoque.

**2.2.2 Modelo de segmentación según criticidad.** Se hizo una investigación de algunos métodos más estructurados para realizar esta clasificación de los ítems, incluyendo el que se usa en la empresa como parte de la metodología de los proyectos de mejoramiento de procesos Six Sigma. Después de analizar alternativas, se propone la metodología que se describe a continuación, la cual permite determinar de manera cuantitativa la criticidad de un ítem específico del inventario. La misma que es propiedad intelectual del *Institute for Operations Research and The Management Sciences* y que es aplicada al tema de criticidad:

**2.2.2.1 Modelo de Puntuación.**<sup>25</sup> Se supone la existencia de una lista conocida de  $n$  variables  $\{j: j = 1, 2, \dots, n\}$  que son consideradas importantes e influyentes en la criticidad de un ítem. Además se supone la existencia de una lista de  $n$  pesos que corresponden a las variables y que son una medida de la importancia relativa de las mismas, donde

$$0 \leq w_j \leq 1$$

$$\sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1$$

Se considera también  $m$  ítems del inventario  $\{i: i = 1, 2, \dots, m\}$ . Suponga que el valor del  $i$ -ésimo ítem con respecto al  $j$ -ésimo variable es dado por  $y_{ij}$ , donde es posible, si se quiere, ubicar la lista de  $mn$  valores en una matriz de  $m \times n$ . El peso ponderado total del  $i$ -ésimo ítem,  $W_i$ , puede estar dado como:

$$W_i = \sum_{j=1}^{j=n} w_j y_{ij}$$

Los factores son considerados como aditivos en este modelo.

El puntaje total del  $i$ -ésimo ítem puede escribirse como:

$$W_i = W_{i'} + W_{i''} = a \sum w_{j'} y_{ij'} + b \sum w_{k''} y_{ik''}$$

Donde

$W_i$  es la puntuación total del  $i$ -ésimo ítem,

---

<sup>25</sup> DEAN, Burton y NISHRY, Meir. Scoring and Profitability Models for Evaluating and Selecting Engineering Projects del Institute for Operations Research and the Management Sciences. Publicado por INFORMS.

$W_{i'}$  es la puntuación del factor  $'$  para el  $i$ -ésimo ítem,

$W_{i''}$  es la puntuación del factor  $''$  para el  $i$ -ésimo ítem,

$w_{j'}$  es el peso para el  $j$ -ésimo factor  $'$ .

$w_{k''}$  es el peso para el  $k$ -ésimo factor  $''$ .

$y_{ij'}$  es el valor para la variable  $j$  en el  $i$ -ésimo ítem.

$y_{ik''}$  es el valor para la variable  $k$  en el  $i$ -ésimo ítem.

$a, b$  son variables de decisión  $a, b \geq 0, a + b = 1$

**2.2.2.2 Etapas Para Determinar la Criticidad de un ítem.** A continuación se describe las etapas que permiten obtener un valor cuantitativo de la criticidad de cada ítem del inventario:

- **Selección de los Factores Relevante:** Por lo general, las variables relevantes son seleccionadas por los expertos que están involucrados en el tema tratado. Cada factor cuenta con niveles que corresponden a escalas, las escalas tienen valores discretos en un rango definido con base en un análisis que indique la posibilidad de asignar a cada variable como máximo un número determinado de valores discretos distintos, puede ser por ejemplo, de 1 a 5. El personal experimentado podría distinguir entre cada uno de los posibles valores. Las variables se asocian en categorías más grande llamadas factores. Suponga los factores  $'$  y  $''$ .

- **Asignación de los Pesos del Factor:** Los miembros del comité de revisión, actuando independientemente, ordenan en forma jerárquica los factores. El orden jerárquico se convierte a valores numéricos, asumiendo intervalos iguales entre rangos adyacentes. Estos valores son promediados por los miembros del comité de revisión.

Sobre la base de una puntuación máxima de 1000 puntos y teniendo en cuenta el número de posibles valores de la escala, se determina la base de la puntuación

dividiendo el primero entre el segundo. Este resultado es dividido nuevamente entre la suma de cada uno de los números que conforman la lista jerárquica obteniendo como resultado el valor multiplicador.

A continuación se ilustra un ejemplo considerando cuatro factores y tres miembros del comité de revisión. El procedimiento para encontrar el peso del factor es ilustrado en el cuadro 3.

- **Listado de Ítems.** Se deben listar todos los ítems a estudiar. Esta lista puede ser definida de manera previa.

**Cuadro 3. Procedimiento para Encontrar el Peso del Factor**

Factores	Personas			$20(5 - a)$	$20(5 - b)$	$20(5 - c)$	$w_j$ $= \left(\frac{20}{3}\right) [(5 - a)$ $+ (5 - b) + (5 - c)]$
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>				
A	4	3	3	20	40	40	33
B	3	2	4	40	60	20	40
C	2	4	1	60	20	80	53
D	1	1	2	80	80	60	<u>74</u>
							200

Fuente: DEAN, Burton y NISHRY, Meir.

- **Evaluación del Proyecto.** Posteriormente, se evalúa cada variable, esto es, se selecciona una calificación  $y_{ij}$ , que es un valor para la variable  $j$  en el ítem  $i$  correspondiente al factor  $i$ .  $y_{ik}$  que es un valor para la variable  $k$  en el ítem  $i$  correspondiente al factor  $i$ . Una vez calificados todos los ítems, se utiliza el modelo de puntuación para obtener el puntaje de cada ítem.

**2.2.3 Estimación de Demanda Intermitente.** Croston (1972) aborda el tema de la demanda intermitente mediante un método de suavización para pronosticar separadamente los dos componentes y asumiendo que son independientes entre ellos, a saber: los intervalos entre demandas y el tamaño de las mismas cuando se presentan<sup>26</sup>. Croston (1972) asume un modelo de media estacionaria para representar patrones de la demanda, el tamaño de la demanda se modela mediante una distribución normal y un proceso de generación de demanda de Bernoulli, por consiguiente el intervalo entre-demandas se distribuye geoméricamente.

A partir de la investigación de Croston (1972) numerosos autores han tratado y evaluado el método de Croston para pronosticar de manera independiente los intervalos entre demandas y el tamaño de las mismas, cuando éstas ocurren. Al igual que Croston, dichos autores, han comparado el desempeño de sus métodos con el método de suavización exponencial simple y han concluido que el último es inapropiado para el tipo de demanda tratante. Las investigaciones de estos autores que tratan el método de Croston han definido de manera clara dos procedimientos que corrigen los sesgos del método de Croston: Aproximación Syntetos-Boylan (Syntetos-Boylan 2005) y Metodo de Syntetos (Syntetos 2001 y Teunter y Sani 2009).

El método de Croston asume un modelo estocástico de llegadas y tamaños de demanda. Mediante estimaciones de suavización exponencial determina el tamaño promedio de la demanda y el intervalo promedio entre demandas. Una ventaja con esto, es que cuando ocurre la demanda en cada periodo, el método es igual al de suavización exponencial tanto para ítems de rápido como para ítems de lento movimiento. El método de Croston asume una distribución normal para el tamaño de la demanda, sin embargo, el método permite usar otros modelos

---

<sup>26</sup> SYNTETOS, Aris y BOYLAN, John. Intermittent Demand: Estimation and Statistical Properties. En: Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control. Reino Unido: Nezih Altay y Lewis Letteral. 2011.

estadísticos (diferentes distribuciones de probabilidad) sin que ello afecte las propiedades de las estimaciones de demanda.

Los supuestos acerca que la demanda siguen un modelo de media estacionaria y el proceso de generación de demanda es un un proceso Bernoulli fueron posteriormente cuestionadas por Willeman et. al en 1994. Se ha mostrado que las estimaciones del método tienen un valor esperado sesgado lo que conduce a un incremento en la estimación del error de pronóstico.

Al año siguiente de la publicación de Croston, Rao demuestra que la varianza de Croston no es correcta y propone una solución al problema. Rao (1973) usa un valor de la constante de suavizamiento diferente para cada uno de los intervalos y el correspondiente tamaño de la demanda, Schultz en 1987 modifica el método Croston sin tener mucha adopción posteriormente.

Snyder (2002) propone un método de pronóstico basado en Bootstrapping. Éste enfoque asume que el proceso de demanda es no estacionaria eliminando el cuestionamiento que se hace al método de Croston sobre la aplicación del método de suavización exponencial simple para el pronóstico de la demanda bajo el supuesto que el tiempo entre las llegadas de la demanda es un proceso estacionario. Leven y Segerstedt (2004) se basan en el método Croston para proponer una implementación del sistema ERP que permite obtener un pronóstico para inventario tanto de rápido como de lento movimiento pero según Boylan y Syntetos (2007) este enfoque presenta sesgos considerables<sup>27</sup>.

La más reciente publicación que mejora las estimaciones de Croston es la hecha por Nezih y Lewis en su libro *Service Parts Management*. Nezih y Lewis exponen estimaciones de varianza que cumplen con el propósito de corregir las estimaciones de Croston.

---

<sup>27</sup>LINDSEY, Matthew. Reliable Prediction Intervals and Bayesian Estimation for Demand Rates of Slow-Moving Inventory. Tesis de Doctorado. Texas: University of North Texas.

**2.2.4 Distribuciones de la Demanda Intermitente.** En los enfoques paramétricos para el control de inventarios se necesitan estimaciones de media y varianza basados en el conocimiento acerca de la distribución de demanda durante el lead time; cuando se trata con ítems de rápido movimiento el supuesto de normalidad es suficiente. Sin embargo, esto no es posible asumirse cuando la demanda es irregular o intermitente caracterizada por periodos en los que no ocurre demanda y por tener un tamaño no constante cuando ésta aparece.

Algunos sistemas de inventario requieren únicamente la estimación de la media y varianza de la demanda como es el caso del modelo  $(R,s,S)$ , cada  $R$  unidades de tiempo se revisa el inventario y se genera una orden de compra por las cantidades necesarias para que el nivel del inventario llegue a  $S$  cuando éste baja a  $s$ . Otros modelos como el  $(R, S)$  con periodo de revisión igual a  $R$  y cantidades a ordenar son las necesarias para que llegue a  $S$ , o el modelo  $(s,Q)$  que genera órdenes de compra por  $Q$  cantidades cuando el nivel del inventario llega a  $s$ , operan bajo un nivel de servicio determinado por lo que requieren estimaciones para calcular la probabilidad de que cualquier demanda exceda  $S$  o  $s$  respectivamente. Estas probabilidades son estimadas basadas en el pronóstico de la media y la varianza en conjunto con una distribución de demanda supuesta.

Croston asume una distribución normal para el tamaño de la demanda, pero ésta puede ser teóricamente representada por diferentes distribuciones de probabilidad sin que ello afecte las propiedades de las estimaciones de demanda. Nezh y Lewis (2011) afirman que la normal puede ser un supuesto razonable cuando el lead time es grande ya que permite el uso del teorema del límite central para la distribución de suma de las demandas sobre el periodo correspondiente. Otro indicador que se usa para el uso de la distribución normal es cuando el coeficiente de variación de la distribución de la demanda es pequeño. Sin embargo, estudios empíricos han demostrado que la distribución normal para caracterizar la demanda durante el tiempo de anticipación (durante el pedido) es considerada poco realista para el caso de demanda intermitente.

Si el tiempo se considera como continuo, el tamaño de la demanda se puede modelar mediante un proceso Poisson y los intervalos entre demandas mediante una distribución exponencial. En este mismo contexto, si la demanda sigue un proceso Poisson y el tamaño de la demanda siguen una determinada distribución arbitraria se tiene como resultado una distribución compuesta de Poisson. Por ejemplo, la distribución Stuttering que es la combinación de tener un proceso de demanda Poisson y un tamaño de demanda que sigue una distribución geométrica. Existen otros tipos de combinaciones como un proceso Poisson para la demanda y una normal para el tamaño de la demanda; o bien la demanda sigue un proceso Poisson y el tamaño de la demanda sigue una distribución logarítmica, entonces la demanda total resulta en una distribución Binomial negativa, recomendada de acuerdo con evidencias empíricas junto con la distribución gamma. Si se asume que la demanda es discreta, gamma puede ser únicamente una aproximación a la distribución de demanda.

Asumiendo el tiempo como una variable discreta, la demanda sigue un proceso Bernoulli por lo que los intervalos entre demandas siguen una distribución geométrica, siguiendo en el mismo contexto, si los intervalos entre demandas siguen una distribución geométrica y el tamaño de la demanda sigue una distribución arbitraria, el resultado es una distribución compuesta Binomial. Cuando la demanda sigue un proceso Bernoulli y las ordenes siguen una distribución Poisson-Logarítmica, la demanda total sigue una distribución Log-Cero-Poisson. Debido a que dicha distribución tiene tres parámetros y requiere de métodos de estimación más complejos no se recomienda. La distribución es superada empíricamente por la Distribución Binomial Negativa<sup>28</sup>.

**2.2.5 Enfoque Bayesiano.** El éxito del pronóstico de artículos de lento movimiento usando un enfoque Bayesiano depende primordialmente de la distribución de la

---

<sup>28</sup> SYNTETOS, Aris, et al. Distributional Assumptions for Parametric Forecasting of Intermittent Demand. En: Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control. Reino Unido: Nezh Altay y Lewis Letteral. 2011.

demanda como lo indica Price y Haynsworth (1986) quienes además favorecen este enfoque por encima de la suavización exponencial. Un enfoque bayesiano es propuesto por Popovic (1987) para estimar los parámetros de la distribución a priori de la tasa de la demanda del inventario y así determinar el nivel de inventario óptimo usando una distribución a posteriori y conociendo el costo que genera el exceso de inventario por unidad de tiempo al igual que el costo de faltante también por unidad de tiempo. Años previos la investigación de Wit (1983) se basa en un enfoque bayesiano e intenta pronosticar la demanda de inventario de lento movimiento pero falla en su objetivo al tratar con demanda extremadamente baja. “Un caso de estudio es presentado por Aronis, Magou, Dekker, y Tagaras (2004) utilizando un enfoque Bayesiano para repuestos, sin embargo la investigación no fue especialmente centrada en demanda de lento movimiento”<sup>29</sup>. Por otro lado, debido a la preocupación dada por la incertidumbre paramétrica y considerando que la técnica utilizada en el pronóstico es determinante en la precisión del mismo, el estudio de (Muñoz y Muñoz 2009) propone un enfoque bayesiano que incorpora de forma natural la incertidumbre que otras metodologías no incorporan en el pronóstico subestimando el riesgo del mismo o en los casos en que la incertidumbre es incorporada posteriormente el valor del parámetro es sustituido por un estimador puntual<sup>30</sup>.

**2.2.6 Enfoque Bootstrap.** El enfoque Bootstrap no paramétrico construye un histograma de la distribución de la demanda a partir del muestreo aleatorio de observaciones individuales de la historia de la demanda. Autores como Snyder 2002 o Porras y Dekker 2008 han propuesto metodologías para el pronóstico de demanda intermitente utilizando el enfoque bootstrap. Willemain et al 2004 desarrollaron un nuevo enfoque bootstrap para “pronosticar la distribución de la

---

<sup>29</sup> LINDSEY, Matthew. Reliable Prediction Intervals and Bayesian Estimation for Demand Rates of Slow-Moving Inventory. Tesis de Doctorado. Texas: University of North Texas.

<sup>30</sup> MUÑOZ, David y MUÑOZ, Diego. Pronósticos Bayesianos para Repuestos de Automóviles Usando Simulación Estocástica. En: Journal of Economics, Finance and administrative Scienc, 2009, vol. 14, no. 27.

suma de las demandas intermitentes sobre un tiempo de suministro fijo”<sup>31</sup> y demostraron que dicho enfoque obtiene resultados más precisos que el de suavización exponencial simple y el Método Croston cuando se trata de tiempos de suministro cortos, ya que para tiempos de suministros largos dicha favorabilidad disminuye. A pesar de creer en que este enfoque es una nueva opción convincente, reconocen que se deben resolver tres problemas. Uno de los pasos presenta problemas ya que no trabaja para ítems que son vendidos en diferentes tamaños. El otro problema es que “cualquier procedimiento de estimación autosuficiente asume que la muestra de datos es estacionaria o puede ser transformada en estacionaria con cierta facilidad, lo cual debe ser comprobado a priori.”<sup>32</sup> Finalmente, los autores asumen que una buena forma de pronosticar la demanda intermitente es mediante alguna modificación del proceso Poisson. Sin embargo, ellos no fueron capaces de encontrar algún modelo robusto y flexible por lo que también consideran el punto como un tema para investigaciones futuras<sup>33</sup>.

**2.2.7 Categorización de demanda no-normal.** Diversos autores se refieren a la demanda con periodos de demanda nula y variabilidad en el tamaño de la demanda no nula como demanda intermitente o demanda no-normal. También se hace referencia al inventario de lento movimiento a aquel con demanda intermitente.

Como se ha expresado en el presente trabajo, el tema del pronóstico es un punto clave para la gestión de inventarios de repuestos con patrones de demanda cuyo comportamiento no es normal debido a la existencia de periodos de cero demandas y al alto grado de variabilidad en el tamaño de la misma. Sin embargo,

---

<sup>31</sup> WILLEMAIN, Thomas; SMART, Charles y SCHWARZ, Henry. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. En: International Journal of Forecasting. 2004, vol.20, No 3.

<sup>32</sup> BABILONI, María et al. Modelos de Previsión para artículos con demanda Intermitente. En: International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management. 2007.

<sup>33</sup> SMITH, Marilyn y BABAI, Zied. A Review of Bootstrapping for Spare Partas Forecasting. En: Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control. Reino Unido: Nezih Altay y Lewis Letteral. 2011.

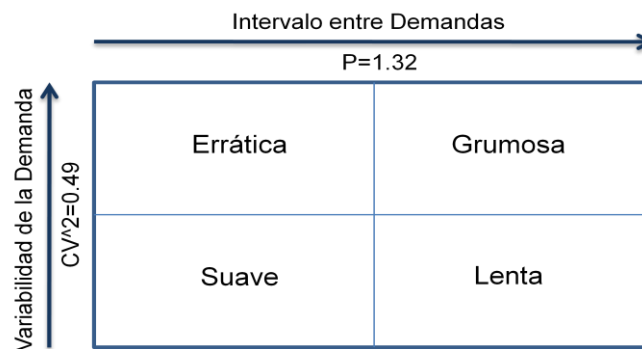
no es el único punto de atención en torno a la problemática. De acuerdo con Nezh y Lewis, un procedimiento estructurado que apoye la gestión de inventarios debe abordar tres decisiones principales; la primera es la de mantener o no un determinado ítem en el almacén, la segunda hace referencia a la definición del nivel de inventario adecuado para cada ítem dada la decisión de mantener y por último decidir acerca de guardar ensambles o sub-ensambles en caso de problemas complejos de materiales. Por consiguiente, es necesario que en la gestión del inventario se tenga en los siguientes cuatro aspectos:

- La identificación de la criticidad para la clasificación de repuestos.
- Un pronóstico de demanda de partes de acuerdo con el coeficiente de variación de la demanda y el intervalo promedio entre demandas.
- La selección de un modelo de inventarios adecuado.
- Una política de prueba y validación que puede incluir simulación con el fin de asegurar que la política de inventarios es la más apropiada.

En ese orden de ideas, la selección de los métodos de pronóstico y control de inventarios son vitales para el impacto en el desempeño de la gestión de inventarios y aún más cuando ésta es una tarea demasiado compleja. Una guía para introducir el esquema de categorización de demanda expuesta por Nezh y Lewis es un punto de partida bastante apropiado. Según los autores, diversos estudios proponen sub-agrupaciones de patrones de demanda intermitente con requerimientos similares de gestión de inventarios mediante un esquema de categorización ya que éste proporciona la oportunidad de establecer reglas que permiten una configuración automatizada del sistema de inventario, además de brindar una mejor visión general de los ítems, similar a un análisis ABC. A continuación se describen los pasos a seguir que si bien no constituye un enfoque de validez universal, en el sentido técnico, es una buena opción disponible cuyos resultados se acercan a una validez universal:

1. Obtener la historia de la demanda de los repuestos como punto de partida.
2. Desagregación de los ítems nuevos y viejos. La desagregación es útil debido a que para los ítems nuevos es difícil construir pronósticos paramétricos y por consiguiente se deben manejar manualmente o con algún método heurístico.
3. Una vez extraídos los ítems nuevos y viejos del grupo inicial, es clave para cada SKU la determinación del coeficiente cuadrado de variación del tamaño de la demanda  $CV^2$  y el intervalo promedio entre demandas  $p$  de los datos de la demanda histórica.
4. La clasificación de los SKU de acuerdo a un esquema de categorización es el cuarto paso esencial. Con base en la variabilidad del tamaño de la demanda y el intervalo promedio entre demandas es posible diferenciar cuatro patrones de demanda no-normal como se ilustra en la figura 27.

**Figura 27. Clasificación de la Demanda No-normal**



Fuente: Nezh Altay y Lewis Litteral

Smooth o Suave: conformada por ítems con pocos periodos de demanda cero y baja variabilidad en el tamaño de la demanda. El supuesto de normalidad no es válido a pesar de que es la categoría con más baja variabilidad.

Erratic o Errática: igual que la suave presenta pocos periodos con demanda cero pero con alta variabilidad en el tamaño de la demanda. Para este tipo de demanda es difícil realizar un pronóstico debido a que el error de pronóstico es

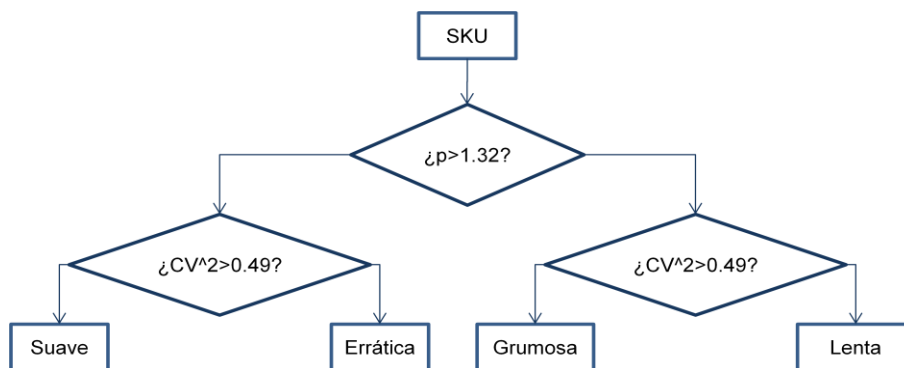
relativamente alto y hace que con frecuencia exista una tendencia a tener inventario en exceso.

Slow o Baja: A pesar de tener una variabilidad del tamaño de la demanda baja, presenta muchos periodos en los que no se presenta demanda.

Lumpy o Grumosa: los ítems que conforman esta categoría representan el reto más grande para la gestión de inventarios de repuestos ya que con frecuencia tienden a tener inventario en exceso y bajo nivel de servicio. Además, representan la mayoría de los ítems del inventario de repuestos y por lo tanto debe tener un mayor enfoque por parte de los administradores de inventario. Estos ítems son los caracterizados por tener alta variabilidad en el tamaño de la demanda y alto nivel de intermitencia.

Un esquema como el presentado en la figura 28 se puede utilizar para tipificar los ítems del inventario.

**Figura 28. Esquema para Tipificar la Demanda No-normal**



Fuente: Autora

5. Una vez tipificados los ítems es posible seleccionar un método de pronóstico adecuado, una distribución de probabilidad y un modelo de inventario para cada grupo. Este agrupamiento debe actualizarse como mínimo anualmente ya que los ítems pueden cambiar con el transcurso del tiempo.

**2.2.8 Modelos de Gestión de Inventarios de Lento Movimiento.** Una revisión de los modelos de gestión de inventarios para demanda intermitente que presentan variabilidad tanto en el tamaño de la demanda como en los intervalos entre demandas fue hecha por María Eugenia Babiloni, Manuel Cardós, José Albarracín y Marta Palmer de la Universidad Politécnica de Valencia<sup>34</sup>.

El sistema (R,S) para la gestión de inventario bajo revisión periódica consiste en que cada R unidades de tiempo se revisa el inventario y se coloca una orden que permita subir al nivel S el inventario siempre y cuando haya habido demanda. Con el fin de disminuir los costos de inventariar, Schultz (1987) propone un retraso en la liberación del pedido y modela el intervalo entre demandas y el tamaño de la demanda mediante una distribución normal.

Dunsmuir y Snyder (1989) asumen que la demanda se modela mediante un proceso compuesto de Poisson y *“la variable que identifica el tamaño de la demanda durante el periodo de revisión R se modela mediante una función de distribución gamma”*. Para un nivel de servicio determinado halla el punto de reorden s en el modelo (R,s,Q). El enfoque es mejorado por Janssen et al 1998 al plantear una ecuación más compleja para no despreciar las desviaciones por debajo del punto de pedido al principio de un ciclo de reaprovisionamiento. La demanda en este caso, sigue un proceso compuesto de Bernoulli.

Calculando las probabilidad de incurrir en ruptura de stocks mediante el modelamiento de la demanda según una distribución Erlang y utilizando el método de Croston modificado, Leven y Segerstedt 2004 plantea un modelo heurístico para gestión del inventario. Por su parte, Syntetos y Boylan 2006 modela la demanda con una función de distribución binomial negativa, cuya análoga en continuo es la distribución gamma. Utilizando tres criterios como son el de servicio,

---

<sup>34</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING & INDUSTRIAL MANAGEMENT. (11: 5-7, Septiembre, 2007: Madrid, España). Modelos de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia, 2007.

el costo por ruptura de stock y el costo por ordenes de pedido de emergencia. Syntetos y Boylan partieron de los estudios hechos por Sani y Kingsman 1977.

**Tabla 1. Modelos de Gestión de Inventarios de Lento Movimiento**

Autor	Revisión	Descripción Modelo	Modelado Demanda
Schultz (1987)	Periódica (R,S)	Modelo con retraso, liberaliza pedidos $k$ periodos después	Tamaño de Demanda e Intervalo entre ellas se distribuye normalmente
Dunsmuir y Snyder (1989)	Periódica (R,s,Q)	Determina $s$ para un nivel de servicio al cliente objetivo	Proceso compuesto de Poisson, con distribución gamma para la variable tamaño de demanda
Janssen et al. (1998)	Periódica (R,s,Q)	CBM	Proceso compuesto de Bernoulli
Leven y Segerstedt (2004)	Periódica (R,Q)	Modelo basado en el planteamiento del método Croston.	DDLT se modela con una distribución de Erlang
Syntetos y Boylan (2006)	Periódica (R,S)	Modelo clásico con condiciones de optimización de servicio y costo.	DDLT se modela con una distribución binomial negativa.
Cardós (2006)	Periódica (R,S)	Método exacto para determinar el nivel de servicio de ciclo para todos los ítems.	DDLT se modela con una distribución de probabilidad discreta.
Snyder (1984)	Continua (s,Q)	Modelo heurístico basado en el método de aproximación del valor parcial esperado	DDLT se modela con una distribución gamma
Schultz (1989)	Continua (0,1)	Modelo con retraso, liberaliza pedidos $k$ periodos después.	Tamaño de demanda e intervalo entre ellas continuas
Segerstedt (1994)	Continua	Heurística que determina cuándo pedir $Q$ .	La demanda está formada por tres variables que se distribuyen con funciones gamma.
Haddock et al. (1994)	Continua	Heurística sencilla que determina cuándo y cuánto pedir.	Tamaño de demanda e intervalo entre ellas según una función de distribución de Poisson.
Vereecke y Verstraeten (1994)	Continua (s,Q)	Calculan $s$ a partir de un nivel de servicio objetivo.	"Package Poisson"
Yeh et al. (1997)	Continua (s,Q)	Herramienta gráfica para determinar $s$ para un nivel de servicio objetivo	La demanda está formada por tres variables que se distribuyen con funciones gamma.
Strijbosch et al (2000)	Continua (s,Q)	Combina método de Croston+CBM	Proceso compuesto de Bernoulli.
Larson et al (2001)	Continua (s,S)	Modelo bayesiano, no paramétrico, que utiliza programación dinámica.	La información de la demanda a priori se modela según un proceso de Dirichlet

Fuente: International Conference on Industrial Engineering

Finalmente, Cardós et. al 2006 calcula el nivel de servicio de una manera un poco más elaborada que Silver et. al 1998 modelando la demanda con una distribución de probabilidad discreta.

Para los modelos de gestión de inventarios bajo una política de revisión continúa, un sistema (s, Q) es planteado por Snyder 1984. Otros autores como Schultz 1989, Segerstedt 1994, Yeh 1997, entre otros también hicieron planteamientos de modelos de inventario para demanda intermitente. Es posible ilustrar un resumen en la tabla 1.

### 3. SEGMENTACIÓN DEL INVENTARIO SEGÚN CRITICIDAD

En el presente trabajo se sigue la metodología desarrollada por el *Institute for Operations Research and the Management Sciences* (Burton Dean y Meir Nishry) para determinar la criticidad de un determinado ítem del inventario.

**3.1 Etapas Para Determinar la Criticidad de un ítem.** De acuerdo a la metodología se siguieron las siguientes etapas:

**3.1.1 Selección de las Variables Relevantes.** Se llevo a cabo una reunión con expertos que pertenecen al área de Inventarios y de Mantenimiento a cargo del inventario de repuestos y con pleno conocimiento de las actividades del departamento cliente. El objetivo fue determinar las variables que afectan la criticidad de cada ítem. Se concluyo que las variables relevantes que afectan la criticidad de un ítem son las que a continuación se presentan:

- Impacto en la Seguridad: son aquellos posibles efectos negativos que se pueden generar en contra de la integridad física de una persona o un bien como consecuencia de la no disponibilidad de un determinado ítem en el inventario en el momento de ser solicitado por el cliente.
- Impacto en el Medio Ambiente: son aquellos posibles efectos negativos que se pueden generar en contra de los elementos del medio natural a corto, mediano o largo plazo como consecuencia de la no disponibilidad de un determinado ítem en el inventario en el momento de ser solicitado por el cliente.
- Impacto en la Operación: son aquellos posibles efectos negativos como la interrupción parcial o total de la explotación y/o exportación de carbón en el complejo mina-puerto.
- Solución Paliativa: es aquel medio o acción que permite enmendar, reparar, resolver o disolver una dificultad o problema o incluso mitigarla, en caso de no

tener disponible un determinado ítem en el inventario en el momento de ser solicitado por el cliente.

- Frecuencia de Uso: la frecuencia de uso hace referencia al número de meses en que un determinado ítem del inventario es ó será usado por el departamento cliente.
- Lead Time: es el tiempo en días que tarda un artículo catalogado en el inventario en encontrarse disponible en el inventario para uso del cliente, desde el momento en que se genera la orden de compra.
- Variabilidad del Lead Time: mide que tanto varía el tiempo de suministro o lead time.
- Planes de Mantenimiento: determina si un determinado ítem del inventario se encuentra en un mantenimiento programado o hace parte de un plan de mantenimiento.

**3.1.2 Asignación de los Pesos de las Variables.** De manera individual cada experto hizo un ranking de las ocho variables en orden de relevancia y de acuerdo al impacto en la criticidad. Los resultados se muestran tabulados en el cuadro 4.

La base de la puntuación es de 1000 puntos y cada una de las variables tiene una escala de 0 hasta 10 por lo que los puntos totales a repartir es el resultado de dividir 1000 entre 10, es decir 100. Como son 8 variables, la sumatoria se hace desde 1 hasta 8, esto es 36. Finalmente, se calcula el factor multiplicador dividiendo 100 entre 36, el resultado es 2.78. Para efectos prácticos, los nombres de los expertos son reemplazados por las primeras letras del alfabeto, desde la letra "a" hasta la "i" respectivamente. El procedimiento aplicado para encontrar el peso de las variables se puede ver en el cuadro 5. El resultado, esto es, las variables con sus respectivos pesos se muestra en la Tabla 3.

**Cuadro 4. Jerarquización de Variables por parte de los Expertos**

Variables	Expertos									
	Gabriel Escobar	Mario de la Ossa	Jorge Parra	Jairo Muñoz	Pedro Gómez	Carlo Rojas	Myriam Blanco	José Guerra	Carlos Oviedo	Rafael Mendoza
<i>Impacto en Seguridad</i>	2	1	1	1	7	2	6	1	1	1
<i>Impacto en Medio Ambiente</i>	3	2	2	3	8	3	7	2	2	2
<i>Impacto en la Operación</i>	1	3	3	2	1	1	1	3	3	3
<i>Solución Paliativa</i>	5	8	6	8	5	5	2	6	8	4
<i>Frecuencia de Uso</i>	4	6	5	7	4	7	3	4	7	5
<i>Lead Time</i>	6	4	4	5	2	4	4	7	5	6
<i>Variabilidad del Lead Time</i>	7	5	7	6	3	6	5	8	6	8
<i>Planes de Mantenimiento</i>	8	7	8	4	6	8	8	5	4	7

Fuente: Autora

**Cuadro 5. Procedimiento Aplicado Para Encontrar el Peso de las Variables**

Variables	Expertos										PROMEDIO
	a	b	c	d	e	F	g	h	i	j	
	2,78(9-a)	2,78(9-b)	2,78(9-c)	2,78(9-d)	2,78(9-e)	2,78(9-f)	2,78(9-g)	2,78(9-h)	2,78(9-i)	2,78(9-j)	
<i>Impacto en Seguridad</i>	19,4	22,2	22,2	22,2	5,6	19,4	8,3	22,2	22,2	22,2	<b>18,67</b>
<i>Impacto en Medio Ambiente</i>	16,7	19,4	19,4	16,7	2,8	16,7	5,6	19,4	19,4	19,4	<b>15,56</b>
<i>Impacto en la Operación</i>	22,2	16,7	16,7	19,4	22,2	22,2	22,2	16,7	16,7	16,7	<b>19,17</b>
<i>Solución Paliativa</i>	11,1	2,8	8,3	2,8	11,1	11,1	19,4	8,3	2,8	13,9	<b>9,17</b>
<i>Frecuencia de Uso</i>	13,9	8,3	11,1	5,6	13,9	5,6	16,7	13,9	5,6	11,1	<b>10,56</b>
<i>Lead Time</i>	8,3	13,9	13,9	11,1	19,4	13,9	13,9	5,6	11,1	8,3	<b>11,94</b>
<i>Variabilidad del Lead Time</i>	5,6	11,1	5,6	8,3	16,7	8,3	11,1	2,8	8,3	2,8	<b>8,06</b>
<i>Planes de Mantenimiento</i>	2,8	5,6	2,8	13,9	8,3	2,8	2,8	11,1	13,9	5,6	<b>6,94</b>
<b>TOTAL</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	<b>100</b>

Fuente: Autora

**Tabla 2. Pesos de las Variables**

<b>Variables</b>	<b>Peso</b>
<i><b>Impacto en la Operación</b></i>	19,17
<i><b>Impacto en Seguridad</b></i>	18,61
<i><b>Impacto en Medio Ambiente</b></i>	15,56
<i><b>Lead Time</b></i>	11,94
<i><b>Frecuencia de Uso</b></i>	10,56
<i><b>Solución Paliativa</b></i>	9,17
<i><b>Variabilidad del Lead Time</b></i>	8,06
<i><b>Planes de Mantenimiento</b></i>	6,94
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Fuente: Autora

Posteriormente cada variable fue agrupada dentro de tres posibles categorías de acuerdo a la naturaleza de las mismas: las categorías identificadas fueron operacional, administrativa y de Seguridad y se muestran en el cuadro 6. Para asignar un peso a cada categoría, los expertos de manera individual confrontan una a una las categorías con el fin de ir asignando un valor cuyo máximo es 10 para la categoría con más relevancia obligando en este caso a un mínimo de 0 para la otra categoría con la cual está siendo confrontada. Las categorías ubicadas en las fila de forma horizontal toman los valores ubicados en las mismas filas a las que pertenecen vs la categoría ubicada en la columna superior del cuadro 7 donde se muestran los resultados.

Las calificaciones de los expertos se promediaron. Los puntos de cada categoría se sumaron y posteriormente se determinó el peso de cada una, tal como se muestra en el cuadro 8.

**Cuadro 6. Variables Agrupadas en Categorías**

<b>Categorías</b>	<b>Variables</b>
<b>Operacional</b>	Impacto en la Operación
	Solución Paliativa
	Planes de Mantenimiento
<b>Administrativa</b>	Lead Time
	Frecuencia de Uso
	Variabilidad del Lead Time
<b>de Seguridad</b>	Impacto en Seguridad
	Impacto en Medio Ambiente

Fuente: Autora

**Cuadro 7. Asignación de Pesos a las Categorías**

<b>CATEGORÍA</b>	<b>Operacionales</b>									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
<i>Operacional</i>										
<i>Administrativa</i>	2	2	3	1	2	5	4	2	3	4
<i>De Seguridad</i>	6	10	10	8	2	4	2	9	8	3
<b>CATEGORÍA</b>	<b>Administrativas</b>									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
<i>Operacional</i>	8	8	7	9	8	5	6	8	7	6
<i>Administrativa</i>										
<i>De Seguridad</i>	8	10	10	10	2	4	4	9	9	2
<b>CATEGORÍA</b>	<b>Seguridad</b>									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
<i>Operacional</i>	4	0	0	2	8	6	8	1	2	7
<i>Administrativa</i>	2	0	0	0	8	6	6	1	1	8
<i>De Seguridad</i>										

Fuente: Autora

**Cuadro 8. Suma de Puntos de las Categorías**

<b>CATEGORÍA</b>	<b>Operacionales</b>	<b>Administrativas</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Suma</b>	<b>Peso de la Categoría</b>
<i>Operacional</i>		7,2	3,8	11,0	<b>0,37</b>
<i>Administrativa</i>	2,8		3,2	6,0	<b>0,20</b>
<i>De Seguridad</i>	6,2	6,8		13,0	<b>0,43</b>
<b>TOTAL</b>	9,0	14,0	7,0	30,0	<b>1,00</b>

Fuente: Autora

**Tabla 3. Pesos de las Categorías**

<b>VARIABLES</b>	<b>PESO</b>
<i>De Seguridad</i>	0,43
<i>Operacional</i>	0,37
<i>Administrativa</i>	0,20
<b>TOTAL</b>	<b>1,00</b>

Fuente: Autora

**3.1.3 Modelo de Puntuación.** Se toma como base el siguiente modelo de Puntuación para el puntaje total del *i*-ésimo ítem:

$$W_i = W_{i'} + W_{i''} = a \sum w_{j'} y_{ij'} + b \sum w_{k''} y_{ik''}$$

Se tiene una lista de *m* ítems, desde *i=1* hasta *i=m* y una lista de 3 variables, desde *j=1* hasta *j=3* que pertenecen a la categoría '*´*', *Y<sub>ij´</sub>* representa el valor que toma el *i*-ésimo ítem con respecto a la *j*-ésima variable. La matriz se muestra a continuación:

		Categoría ´		
		Variables		
Items		j=1	j=2	j=3
i=1		y11´	y12´	y13´
i=2		y21´	y22´	y23´
i=3		y31´	y32´	y33´
		.	.	.
		.	.	.
		.	.	.
i=m		ym1´	ym2´	ym3´

De la misma manera se tienen otras dos matrices que conforman la categoría ´´ y la categoría ´´´.  $Y_{ik}''$  representa el valor que toma el i-ésimo ítem con respecto a la k-ésima variable.  $Y_{il}'''$  representa el valor que toma el i-ésimo ítem con respecto a la l-ésima variable, tal como se ilustra a continuación:

		Categoría ´´					Categoría ´´´	
		Variables					Variables	
Items		k=1	k=2	k=3	Items		l=1	l=2
i=1		y11''	y12''	y13''	i=1		y11'''	y12'''
i=2		y21''	y22''	y23''	i=2		y21'''	y22'''
i=3		y31''	y32''	y33''	i=3		y31'''	y32'''
		.	.	.			.	.
		.	.	.			.	.
		.	.	.			.	.
i=m		ym1''	ym2''	ym3''	i=m		ym1'''	ym2'''

Cada una de las variables que conforman las tres categorías tienen asociado un peso. En la categoría ´ el peso de cada variable es  $w_j'$ . En la categoría ´´ el peso de cada variable es  $w_k''$  y en la categoría ´´´ el peso de cada variable es  $w_l'''$ . Los vectores son los mostrados a continuación:

Categoría ´		Factor ´´		Factor ´´´	
Peso de las Variables		Peso de las Variables		Peso de las Variables	
j=1	$w_1'$	k=1	$w_1''$	l=1	$w_1'''$
j=2	$w_2'$	k=2	$w_2''$	l=2	$w_2'''$
j=3	$w_3'$	k=3	$w_3''$		

Adicionalmente, cada una de las categorías tiene un determinado peso los cuales son respectivamente a, b y c.

Con base en el desarrollo metodológico hecho para encontrar el número de categorías y de variables en Cerrejón, es posible hacer las sustituciones por los nombres de las categorías y de las variables como se ve a continuación, en las tablas 4, 5 y 6:

**Tabla 4. Categoría Operacional**

Categoría Operacional			
Ítems	Impacto en la Operación	Variables Solución Paliativa	Planes de Mantenimiento
$i=1$	$y11'$	$y12'$	$y13'$
$i=2$	$y21'$	$y22'$	$y23'$
$i=3$	$y31'$	$y32'$	$y33'$
.	.	.	.
.	.	.	.
$i=m$	$ym1'$	$ym2'$	$ym3'$

Fuente: Autora

**Tabla 5. Categoría Administrativa**

Categoría Administrativa			
Ítems	Lead Time	Frecuencia de Uso	Variabilidad del Lead Time
$i=1$	$y11''$	$y12''$	$y13''$
$i=2$	$y21''$	$y22''$	$y23''$
$i=3$	$y31''$	$y32''$	$y33''$
.	.	.	.
.	.	.	.
$i=m$	$ym1''$	$ym2''$	$ym3''$

Fuente: Autora

Los pesos tanto de las variables como de las categorías fueron mostrados anteriormente en las tablas 2 y 3 respectivamente.

**Tabla 6. Categoría de Seguridad**

Categoría de Seguridad		
Items	Variables	
	Impacto en Seguridad	Impacto en Medio Ambiente
$i=1$	$y_{11}'''$	$y_{12}'''$
$i=2$	$y_{21}'''$	$y_{22}'''$
$i=3$	$y_{31}'''$	$y_{32}'''$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$i=m$	$y_{m1}'''$	$y_{m2}'''$

Fuente: Autora

De acuerdo con lo anterior se establece que el modelo de puntuación para determinar la criticidad de un ítem, una vez desarrollada la metodología en Cerrejón, se puede escribir como:

$$\begin{aligned}
 \text{Criticidad} = & \text{Categoría Operacional} \left( \text{Impacto en la Operación} * Y_{i1}' + \text{Solución Paliativa} * Y_{i2}' + \text{Plan de Mantenimiento} * Y_{i3}' \right) + \\
 & \text{Categoría Administrativa} \left( \text{Lead Time} * Y_{i1}'' + \text{Variabilidad del Lead Time} * Y_{i2}'' + \text{Frecuencia de Uso} * Y_{i3}'' \right) + \\
 & \text{Categoría de Seguridad} \left( \text{Impacto en Seguridad} * Y_{i1}''' + \text{Impacto en Medio Ambiente} * Y_{i2}''' \right)
 \end{aligned}$$

Asignando el peso de cada categoría y de cada variable en la ecuación, se tiene:

$$\begin{aligned}
 \text{Criticidad} = & 0,37 \left( 18,61 * Y_{i1}' + 11,94 * Y_{i2}' + 10,56 * Y_{i3}' \right) + \\
 & 0,20 \left( 9,17 * Y_{i1}'' + 8,06 * Y_{i2}'' + 6,94 * Y_{i3}'' \right) + \\
 & 0,43 \left( 15,56 * Y_{i1}''' + 19,17 * Y_{i2}''' \right)
 \end{aligned}$$

**3.1.4 Evaluación de cada ítem.** Posteriormente, se evalúa cada variable, es decir, se selecciona una calificación  $y_{ij}$ , que es un valor para la variable  $j$  en el

ítem  $i$  correspondiente a la categoría  $j$ ,  $y_{ik}$  que es un valor para la variable  $k$  en el ítem  $i$  correspondiente a la categoría  $j$  y  $y_{il}$  que es un valor para la variable  $l$  en el ítem  $i$  correspondiente a la categoría  $j$ . En otras palabras, al momento de evaluar un ítem, cada una de las variables asociadas a las categorías operacional, administrativa y de seguridad puede tomar un valor que va desde 0 hasta 10 dependiendo de la naturaleza particular de cada ítem. En el caso de Cerrejón, la persona indicada para calificar las variables de las categorías operacional y de seguridad corresponde al planeador de la unidad de servicio cliente; mientras que las calificaciones para las variables de la categoría administrativa deben ser hechas por el analista de inventarios. De la tabla 7 a la tabla 14 se muestra las posibles calificaciones que cada una de las variables puede tomar para un determinado ítem del inventario.

**Tabla 7. Calificación del Impacto en la Operación**

		<b>Valores de <math>Y_{i1}</math></b>
A	Produce parada en el cargador de buques, bandas 407 y 408, estación de descargue, bandas 402, línea férrea, muestreador JBL o Plantas 1 bandas 201.	<b>10</b>
B	Produce parada en el muestreador silos, apilador recolector, plantas 2 trituración y bandas 301, muestreador RAMSI, Bandas 403, 405, 404B, Silos, Locomotora 1014, pala P&H XPC, Pala PC8000, Cargador L1350 u otras locomotoras.	<b>7,5</b>
C	Produce parada en cargador Combi, pala P&H, pala EX5500, camiones 190, banda 407A, pala PC4000, pala EX3600, pala terex, camiones 320, camiones 240.	<b>5</b>
D	Produce parada en planta de lavado, tanquero, tractor de oruga, tractor de llantas, moto niveladora, moto trailla, retroexcavadora, taladros	<b>2,5</b>
E	No produce parada en equipos	<b>0</b>

Fuente: Autora

**Tabla 8. Calificación de la Solución Paliativa**

		<b>Valores de <math>Y_{i2}</math></b>
A	No tiene solución paliativa	<b>10</b>
B	Tiene solución paliativa y es la de donante	<b>5</b>
C	Tiene solución paliativa	<b>0</b>

Fuente: Autora

**Tabla 9. Calificación de los Planes de Mantenimiento**

		<i>Valores de Yi3'</i>
A	No Pertenece a un Plan de Mantenimiento	<b>5</b>
B	Si Pertenece a un Plan de Mantenimiento	<b>0</b>

Fuente: Autora

**Tabla 10. Calificación del Lead Time**

		<i>Valores de Yi1''</i>
A	Mayor a 90 días: $90 < LT$	<b>10</b>
B	Entre 60 y 90 días: $60 < LT \leq 90$ días	<b>7,5</b>
C	Entre 30 y 60 días: $30 < LT \leq 60$ días	<b>5,0</b>
D	Entre 15 y 30 días: $15 < LT \leq 30$ días	<b>2,5</b>
E	Menor o igual a 15 días: $LT \leq 15$ días	<b>0</b>

Fuente: Autora

**Tabla 11. Calificación de la Variabilidad del Lead Time**

		<i>Valores de Yi2''</i>
A	Mayor a 80% $80\% < V$	<b>10</b>
B	Entre 60% y 80% $60\% < V \leq 80\%$	<b>7,5</b>
C	Entre 40% y 60% $40\% < V \leq 60\%$	<b>5,0</b>
D	Entre 20% y 40% $20\% < V \leq 40\%$	<b>2,5</b>
E	Menor o igual a 20% $V \leq 20\%$	<b>0</b>

Fuente: Autora

**Tabla 12. Calificación de la Frecuencia de Uso**

		<i>Valores de Yi3''</i>
A	Mayor o igual a ocho meses: $7 < FU \leq 12$ meses	<b>10</b>
B	Mayor que tres y menor o igual a 7 meses: $3 < FU \leq 7$ meses	<b>6,7</b>
C	Mayor que cero y menor o igual a tres meses: $0 < FU \leq 3$ meses	<b>3,3</b>
D	Cero: 0 meses	<b>0</b>

Fuente: Autora

**Tabla 13. Calificación del Impacto en la Seguridad**

		Valores de Y1''''
A	Impacta ocasionando fatalidades o discapacidades irreversibles severas	10
B	Impacta ocasionando lesiones severas o discapacidad irreversible moderada	6,7
C	Impacta ocasionando lesiones menores	3,3
D	No impacta en la seguridad	0

Fuente: Autora

**Tabla 14. Calificación del Impacto en el Medio Ambiente**

		Valores de Y2''''
A	Tiene un impacto severo con efecto a Mediano o Largo Plazo	10
B	Tiene un Impacto moderado con efecto a Mediano o Largo Plazo	6,7
C	Tiene un Impacta menor	3,3
D	No tiene impacto en el medio ambiente.	0

Fuente: Autora

Una vez calificados todos los ítems, se utiliza el modelo de puntuación para obtener el puntaje de criticidad de cada ítem. En la siguiente tabla es posible observar la evaluación de la criticidad para un determinado ítem del inventario. Como anexo se puede encontrar la evaluación de las variables para el resto de los ítems a los cuales se les aplicó la metodología.

Con base en la evaluación del ítem ilustrada en la figura 29 y de acuerdo a lo ilustrado en el cuadro 9, se puede obtener el puntaje de la criticidad tal como se ilustra a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{Criticidad} = & 0,37 \left( 18,61 * 0 + 11,94 * 5 + 10,56 * 10 \right) + \\
 & 0,20 \left( 9,17 * 5 + 8,06 * 7,5 + 6,94 * 0 \right) + \\
 & 0,43 \left( 15,56 * 0 + 19,17 * 0 \right) \\
 \text{Criticidad} = & \quad \quad \quad \mathbf{82}
 \end{aligned}$$

**Figura 29. Evaluación de Variables para un Ítem del Inventario**

<b>UNIDAD DE SERVICIO</b>	
<b>CAMIONES EUCLID HITACHI EH 5000 320 TONELADAS</b>	
<b>Planeador:</b> Gabriel Escobar	
<b>Superintendente:</b> Leonardo Salcedo	
<b>Código del Stock:</b> 17428	
1. Evaluación del Impacto en la Seguridad. Un Stock Out del repuesto:	
A. Impacta ocasionando fatalidades o discapacidades irreversibles severas.	
B. Impacta ocasionando lesiones severas o discapacidad irreversible moderada.	
C. Impacta ocasionando lesiones menores.	
<input checked="" type="checkbox"/> D. No impacta en la seguridad.	
2. Evaluación del Impacto en el Medio Ambiente. Un Stock Out del repuesto:	
A. Tiene un impacto severo con efecto a Mediano o Largo Plazo	
B. Tiene un Impacto moderado con efecto a Mediano o Largo Plazo	
C. Tiene un Impacta menor	
<input checked="" type="checkbox"/> D. No tiene impacto en el medio ambiente.	
3. Evaluación del Impacto en la Operación. Un Stock Out del repuesto:	
A. Produce parada en el cargador de buques, bandas 407 y 408, estación de descargue, bandas 402, línea férrea, muestreador JBL o Plantas 1 bandas 201.	
B. Produce parada en el muestreador silos, apilador recolector, plantas 2 trituración y bandas 301, muestreador RAMSI, Bandas 403, 405, 404B, Silos, Locomotora 1014, pala P&H XPC, Pala PC8000, Cargador L1350 u otras locomotoras.	
C. Produce parada en cargador Combi, pala P&H, pala EX5500, camiones 190, banda 407A, pala PC4000, pala EX3600, pala terex, camiones 320, camiones 240.	
D. Produce parada en planta de lavado, tanquero, tractor de oruga, tractor de llantas, moto niveladora, moto trailla, retroexcavadora, taladros	
<input checked="" type="checkbox"/> E. No produce parada en equipos	
4. Evaluación de la Solución Paliativa. El problema generado por el Stock Out del repuesto:	
A. No tiene solución paliativa.	
<input checked="" type="checkbox"/> B. Tiene solución paliativa y es la de donante	
C. Tiene solución paliativa.	
5. Evaluación de la Frecuencia de Uso. El repuesto tiene una frecuencia de Uso:	
<input checked="" type="checkbox"/> A. Mayor o igual a ocho meses: $7 < FU \leq 12$ meses	
B. Mayor que tres y menor o igual a 7 meses: $3 < FU \leq 7$ meses	
C. Mayor que cero y menor o igual a tres meses: $0 < FU \leq 3$ meses	
D. Cero meses $FU = 0$ meses	

**Figura 29. (Continuación) Evaluación de Variables para un Ítem del Inventario**

<b>UNIDAD DE SERVICIO</b>		
<b>CAMIONES EUCLID HITACHI EH 5000 320 TONELADAS</b>		
<b>Planeador:</b> Gabriel Escobar		
<b>Superintendente:</b> Leonardo Salcedo		
<b>Stock Code:</b> 17428		
6. Evaluación del Lead Time. El repuesto tiene un Lead Time:		
	A. Mayor a 90 días	$90 < LT$
	B. Entre 60 y 90 días	$60 < LT \leq 90$ días
x	C. Entre 30 y 60 días	$30 < LT \leq 60$ días
	D. Entre 15 y 30 días	$15 < LT \leq 30$ días
	E. Menor o igual a 15 días	$LT \leq 15$ días
7. Evaluación de la Variabilidad del Lead Time (V).		
	A. Mayor a 80%	$80\% < V$
x	B. Entre 60% y 80%	$60\% < V \leq 80\%$
	C. Entre 40% y 60%	$40\% < V \leq 60\%$
	D. Entre 20% y 40%	$20\% < V \leq 40\%$
	E. Menor o igual a 20%	$V \leq 20\%$
8. Evaluación de la pertenencia a un Plan de Mantenimiento. El repuesto:		
	A. No Pertenece a un Plan de Mantenimiento	
x	B. Si Pertenece a un Plan de Mantenimiento	

Fuente: Autora

Los resultados de aplicar la metodología a diferentes ítems del inventario están contenidos en el cuadro 10<sup>35</sup>. De acuerdo con ellos, es posible evidenciar claramente que no todos los ítems tienen igual criticidad, es decir que, no todos tienen el mismo impacto en la operación en el momento en que son requeridos y están ausentes en el almacén. Esto ayuda a la organización y más exactamente a los administradores del inventario a buscar en donde deben centrar más su atención, sus esfuerzos y sobre todo a conseguir una alineación en las políticas de inventario y en los indicadores de nivel de servicio.

<sup>35</sup> Los códigos del stock fueron codificados a petición de la empresa.

**Cuadro 9. Valores para Criticidad de un Ítem del Inventario**

Ítem 17428											
0,43	CATEGORÍA DE SEGURIDAD										
IMPACTO EN SEGURIDAD					IMPACTO EN MEDIO AMBIENTE						
15,6					19,2						
A	B	C	D		A	B	C	D			
10	6,667	3,333	0		10	6,667	3,333	0			
			0					0			0
0,367	CATEGORÍA OPERACIONAL										
IMPACTO EN LA OPERACIÓN					SOLUCIÓN PALIATIVA			FRECUENCIA DE USO			
18,6					11,9			10,6			
A	B	C	D	E	A	B	C	A	B	C	D
10	7,5	5	2,5	0	10	5	0	10	6,667	3,333	0
				0		5		10			
0,2	CATEGORÍA ADMINISTRATIVA										
LEAD TIME					VARIABILIDAD DEL LEAD TIME					PLAN DE MANTO	
9,17					8,06					6,94	
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B
10	7,5	5	2,5	0	10	7,5	5	2,5	0	10	0
		5				7,5					

Fuente: Autora

Es de libre escogencia para la organización, la asignación de los puntos en los que hay un cambio de escala. Para efectos prácticos, se definen a continuación grupos o clasificaciones y de manera correspondiente el respectivo rango de criticidad teniendo en cuenta que el valor de criticidad cero indica el más bajo:

**Tabla 15. Rangos de Criticidad**

Grupo	Rango de Criticidad
A	261-550
B	201-260
C	151-200
D	101-150
E	51-100
F	0-50

Fuente: Autora

**Cuadro 10. Criticidad de los Ítems**

<b>Código del Stock</b>	<b>Criticidad</b>	<b>Código del Stock</b>	<b>Criticidad</b>
27370	205	273973	149
27325	201	273977	145
27459	201	17428	82
28216	201	27366	78
27736	193	29345	78
27426	190	27382	70
29083	189	27433	69
27411	171		

Fuente: Autora

De acuerdo con los grupos que se han establecido, es posible ilustrar la pertenencia de cada ítem, a cada uno de los mismos.

**Cuadro 11. Grupos de Criticidad de los ítems**

<b>Código Stock</b>	<b>Criticidad</b>	<b>Grupo</b>
27370	205	B
27325	201	B
27459	201	B
28216	201	B
27736	193	C
27426	190	C
29083	189	C
27411	171	C
273973	149	D
273977	145	D
17428	82	E
27366	78	E
29345	78	E
27382	70	E
27433	69	E

Fuente: Autora

Como ya se ha mencionado anteriormente, la disponibilidad de los equipos mineros con los que cuenta Cerrejón es de suma importancia debido a que con ellos extrae el material estéril y el mineral. Aún más si se menciona que la operación minera a cielo abierto que desarrolla la empresa se hace de manera continua, esto es, las 24 horas del día siempre y cuando las condiciones climáticas lo permitan para no poner en riesgo la vida de las personas y los activos de la compañía. Como es de esperar una disponibilidad de los equipos del 100% no es posible debido entre otras cosas a que los mismos reclaman tiempo para su mantenimiento. Es por eso, que las labores llevadas a cabo en el departamento de mantenimiento tienen un impacto directo en la producción. Por otro lado, la disponibilidad de los materiales que mantenimiento requiere contribuye a que no haya pérdida de disponibilidad de equipos por tal razón y así que el tiempo en el taller (o lugar de reparación) de un equipo minero sea el menor posible.

En ese orden de ideas, es razonable admitir que el departamento cliente que es mantenimiento reclame un nivel de servicio adecuado que le permita cumplir con sus indicadores de disponibilidad de los equipos.

Dar un nivel de servicio adecuado al cliente no es lo mismo que dar el máximo nivel de servicio posible debido a las implicaciones que ello conlleva. Las razones de mantener un equilibrio minimizando los costos del inventario ya han sido justificadas sólidamente de manera previa. Teniendo en cuenta las diversas variables vividas en el día a día del mantenimiento como las soluciones paliativas, los diferentes impactos en la operación y demás que contribuyen en determinar que tan crítico es cierto ítem del inventario, y gracias a la metodología desarrollada para determinar el puntaje de criticidad de los repuestos, es posible asignar un nivel de servicio diferente a cada grupo de criticidad, tal y como se ilustra a continuación:

**Cuadro 12. Nivel de Servicio para los Grupos**

<b>Grupo</b>	<b>Rango de Criticidad</b>	<b>Nivel de Servicio</b>
<b>A</b>	261-550	100%
<b>B</b>	201-260	95%
<b>C</b>	151-200	90%
<b>D</b>	101-150	80%
<b>E</b>	51-100	70%
<b>F</b>	0-50	60%

Fuente: Autora

#### 4. PRNÓSTICO DE LA DEMANDA<sup>36</sup>

Para el pronóstico de la demanda se usa el siguiente procedimiento que permite obtener la estimación de la demanda para grandes intervalos de intermitencia; su validez empírica fue establecida por Eaves y Kingsman en el año 2004, al igual que por Gutierrez et.a. en año 2008. La fórmula para el pronóstico es:

$$F_t = \left(1 - \frac{\delta}{2}\right) \frac{\hat{Z}_t}{\hat{T}_t}$$

El estimador se conoce como el método SBA por sus siglas en inglés de *Syntetos-Boylan Approximation*. De la ecuación anterior se tiene que  $\hat{T}_t$  es el intervalo entre demandas suavizado exponencialmente y se actualiza únicamente si la demanda ocurre en el periodo t y  $\hat{Z}_t$  es el tamaño de la demanda suavizado exponencialmente y se actualiza únicamente si la demanda ocurre en el periodo t.

$$\hat{T}_t = \hat{T}_{t-1} + \delta(T_t - \hat{T}_{t-1})$$

$$\hat{Z}_t = \hat{Z}_{t-1} + \lambda(Z_t - \hat{Z}_{t-1})$$

La varianza del error del pronóstico es estimada a través del enfoque del error cuadrado medio suavizado, tal que:

$$MSE_t = \beta(D_{t-1} - F_{t-1})^2 + (1 - \beta)MSE_{t-1}$$

$\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\beta$  son constantes de suavización.  $\delta = \lambda = 0.05$  y  $\beta = 0.5$  ( dichos valores reflejan los valores usuales en la práctica en el contexto de aplicación)

La decisión del uso de este método radica en su robustez y su facilidad de aplicación y comunicación a la gerencia. Además de seguir de manera alineada con el actual enfoque de la organización. Finalmente, Syntetos et al. (2010) bajo un contexto similar obtiene resultado muy satisfactorios.

---

<sup>36</sup> SYNTETOS et al. Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context. *En: Journal Production Economics*, 2010, p. 103 -111.

Las tablas de los pronósticos de los ítems se encuentran como anexo debido a su extensión. En el cuadro 13 es posible observar el pronóstico de la Demanda para el un ítem.

**Cuadro 13. Pronóstico de Demanda**

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
1	1	1,3	1,9	1,9	0,69	0,00	28	0	1,4	2,0		0,65	0,56
2	1	1,3	1,9	1	0,68	0,05	29	1	1,4	2,0	2	0,65	0,49
3	1	1,3	1,8	1	0,69	0,08	30	1	1,4	2,0	1	0,65	0,31
4	0	1,3	1,8		0,70	0,09	31	0	1,3	2,0		0,65	0,22
5	2	1,3	1,8	2	0,70	0,29	32	0	1,3	2,0		0,65	0,32
6	0	1,3	1,8		0,71	0,99	33	1	1,3	2,0	3	0,65	0,37
7	0	1,3	1,8		0,71	0,75	34	1	1,3	2,0	1	0,63	0,25
8	1	1,3	1,8	3	0,71	0,63	35	0	1,3	2,0		0,64	0,19
9	1	1,3	1,9	1	0,68	0,36	36	1	1,3	2,0	2	0,64	0,30
10	2	1,3	1,8	1	0,69	0,23	37	0	1,3	2,0		0,63	0,22
11	0	1,3	1,8		0,72	0,98	38	0	1,3	2,0		0,63	0,31
12	0	1,3	1,8		0,72	0,75	39	0	1,3	2,0		0,63	0,35
13	0	1,3	1,8		0,72	0,64	40	2	1,3	2,0	4	0,63	0,38
14	1	1,3	1,8	4	0,72	0,58	41	0	1,3	2,1		0,62	1,12
15	0	1,3	1,9		0,67	0,33	42	2	1,3	2,1	2	0,62	0,75
16	0	1,3	1,9		0,67	0,39	43	0	1,4	2,1		0,63	1,33
17	2	1,3	1,9	3	0,67	0,42	44	0	1,4	2,1		0,63	0,87
18	0	1,3	2,0		0,67	1,09	45	0	1,4	2,1		0,63	0,64
19	0	1,3	2,0		0,67	0,77	46	0	1,4	2,1		0,63	0,52
20	0	1,3	2,0		0,67	0,61	47	0	1,4	2,1		0,63	0,46
21	0	1,3	2,0		0,67	0,53	48	0	1,4	2,1		0,63	0,43
22	1	1,3	2,0	5	0,67	0,49	49	0	1,4	2,1		0,63	0,42
23	0	1,3	2,1		0,61	0,30	50	0	1,4	2,1		0,63	0,41
24	3	1,3	2,1	2	0,61	0,34	51	2	1,4	2,1	9	0,63	0,41
25	1	1,4	2,1	1	0,65	3,01	52	1	1,4	2,4	1	0,56	1,14
26	0	1,4	2,0		0,66	1,57	53		<b>1,4</b>	<b>2,4</b>		<b>0,57</b>	<b>0,67</b>
27	1	1,4	2,0	2	0,66	1,00							

Como resultado, para el ítem se tiene el pronóstico y el error cuadrado medio respectivamente:

$F_{53}$	$MSE_{53}$
0,57	0,67

Los datos de demanda se toman semanalmente. Las condicionales iniciales del pronóstico se determinaron mediante el promedio de los valores reales correspondiente a un tercio de la muestra. El error cuadrado medio del pronóstico se actualiza en cada periodo así no ocurra demanda.

## 5. SUPUESTOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA DEMANDA

Para calcular los parámetros de la política de inventario es necesaria hacer un supuesto sobre la distribución de probabilidad de la demanda por periodo. Debido a que los datos de la demanda no normal están contruidos por elementos constituyentes como son las llegadas de las demandas y el tamaño de las demandas es posible justificar teóricamente el uso de distribuciones compuestas.

Cuando se asume que las llegadas de las demandas siguen un proceso Poisson y el tamaño de las mismas siguen una distribución Logarítmica, la demanda total es entonces la Distribución Binomial Negativa sobre el tiempo. Por tanto, una elección natural es la Distribución Binomial Negativa.

*“La distribución Gamma es la análoga continua de la Distribución Binomial Negativa y aunque no tiene un soporte a priori (en términos de un mecanismo subyacente explicito, tal como una caracterización de distribución compuesta), la gamma está relacionada a una distribución que tiene su propia justificación teórica.”<sup>37</sup>* La distribución Gamma cubre un amplio rango de distribuciones de probabilidad, está definida únicamente para valores positivos y por lo general es matemáticamente tratable en aplicaciones de control de inventarios. Ha sido usada ampliamente en la literatura de control de inventarios por su gran flexibilidad en relación con la varianza y la media. Sin embargo, se reconoce que si se asume la demanda discreta, la distribución gamma puede ser solamente una aproximación a la distribución de la demanda.

---

<sup>37</sup> BOYLAN, J.E., 1997. The Centralisation of Inventory and the Modelling of Demand Unpublished. Citado por SYNTETOS et al. 2010. . Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context. En: Journal Production Economics, 2010, p. 107.

Es posible caracterizar plenamente la distribución gamma hallando sus parámetros con las estimaciones hechas en el punto anterior. La distribución gamma tiene dos parámetros que son el parámetro de escala dado por  $\beta = \text{Varianza}/\text{Media}$  y el parámetro de forma dado por  $\alpha = \text{Media}^2/\text{Varianza}$ . Entonces, los parámetros para el primer ítem que se presenta con fines de ilustrar nuestra propuesta son:

$$\beta = \frac{0,67}{0,57} = 1,2$$

$$\alpha = \frac{0,57^2}{0,67} = 0,5$$

Con los parámetros de la distribución, y el nivel de servicio al cliente (CSL) se determina el punto reorden.

## 6. MODELO DE INVENTARIOS<sup>38</sup>

Siguiendo con una política de inventarios que se asemeje más con la situación actual de la empresa, se aplica de manera muy alineada con el trabajo hecho por Syntetos et al. (2010) la política de inventarios de revisión periódica  $(T,r,Q)$ . El sistema es controlado al final de cada periodo de revisión. El tiempo se toma como una variable discreta.

El periodo de revisión es  $T= 1$ . Cuando el inventario llega a su punto de re-orden  $r$ , o se encuentra por debajo de él, se coloca una orden por  $Q$  cantidades. La orden se recibe después del tiempo de suministro  $L$ . El punto de re-orden es recalculado al final de cada periodo (semana). El tiempo es tratado como una variable discreta.

Los parámetros de la política  $(r,Q)$  (forma corta para referirse a la política  $(T,r,Q)$ ) se hallan usando un nivel de servicio del ciclo, en vez de una restricción de costos. El nivel de servicio del ciclo ( $CSL$  por sus siglas en inglés) es la probabilidad de que no haya faltantes durante un ciclo. El ciclo corresponde a una semana. El punto de re-orden calculado para el periodo  $t$  (al final de periodo  $t-1$ ) denotado por  $r_t$  está dado por:

$$r_t = (L + 1)F_t + \Phi^{-1}(CSL)\sqrt{MSE_t(L + 1)}$$

$\Phi(\cdot)$  es la distribución acumulada de la demanda por periodo. Los parámetros del inventario son actualizados al final de cada periodo. La posición del inventario (existencias en el almacén + ordenes lanzadas que van a ser recibidas - demanda diferidas) se compara con el punto de re-orden. Si éste se encuentra por debajo (igual o por debajo) del punto de re-orden, entonces se lanza una orden por  $Q$  unidades.

Entonces, para el primer ítem se tiene que:

---

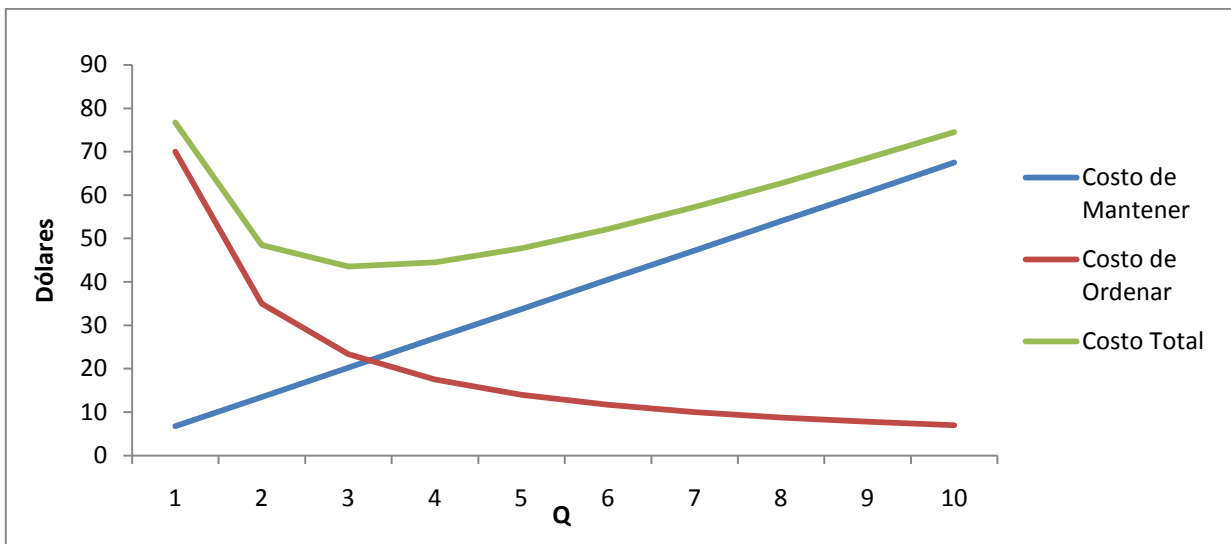
<sup>38</sup> SYNTETOS et al. Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context. En: Journal Production Economics, 2010, p. 107

$$r_{53} = (8 + 1) * 0,57 + 0,6 * \sqrt{0,67(8 + 1)}$$

$$r_{53} = 6$$

Para calcular la cantidad a ordenar Q, se emplea la cantidad económica de pedido (EOQ – *Economy Order Quantity*). Dicha cantidad es tal que minimiza los costos totales del inventario, esto es, el costo de mantener existencias en el inventario y el costo de lanzar una orden de pedido, tal como se ilustra en la figura siguiente. Como se trabaja con unidades enteras, la cantidad será aproximada al entero más cercano, lo que hace que la solución sea la más cercana a la óptima.

**Figura 30. Comportamiento de los Costos del Inventario**



Fuente: Autora

Siendo  $h$  el costo de mantener,  $\mu_D$  la demanda anual media y  $A$  el costo de ordenar, se tiene que la cantidad óptima de pedido está dada por la siguiente expresión:

$$Q = \sqrt{\frac{2A\mu_D}{h}}$$

De este modo, la cantidad de pedido para el primer ítem es:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * 83,9 * 21,5}{49,91}} = 9$$

Entonces, la cantidad de pedido debe ser 9 unidades sí la posición del inventario es igual o menor que 6 unidades, para el periodo 53. Los resultados de los demás ítems se muestran como anexos.

El cuadro 14 ilustra la política de Inventario para los periodos siguientes.

**Cuadro 14. Política de Inventario**

Periodo	Dem Real	F <sub>t</sub>	MSE <sub>t</sub>	r <sub>t</sub>	Unds. Recibidas	Dem. Satisfecha	Unidades en Almacén	Unidades Lanzadas	Dem. Diferida	Posición Inventario	Q
53	4	0,57	0,67	6		0	2	0	0	2	9
54	1	0,64	6,23	6		2	0	9	2	7	0
55	0	0,65	3,18	7		0	0	9	3	6	9
56	1	0,65	1,8	8		0	0	18	3	15	0
57	2	0,64	0,96	8		0	0	18	4	14	0
58	0	0,67	1,41	8		0	0	18	6	12	0
59	0	0,67	0,93	8		0	0	18	6	12	0
60	2	0,67	0,69	8		0	0	18	6	12	0
61	3	0,67	1,23	8		0	0	18	8	10	0
62	0	0,72	3,33	8	9	9	0	9	2	7	9
63	0	0,72	1,93	9		0	0	18	2	16	0
64	0	0,72	1,22	9	9	2	7	9	0	16	0
65	0	0,72	0,87	9		0	7	9	0	16	0

Fuente: Autora

## 7. CONCLUSIONES

- La demanda del inventario de lento movimiento está caracterizada por presentar variabilidad en el tamaño de la demanda y presentar periodos de cero demandas. También es llamada demanda no-normal o demanda intermitente. *“Los patrones de demanda intermitente son muy difíciles de pronosticar y ellos son, más comúnmente, asociados con requerimientos de repuestos.”*<sup>39</sup>
- Diversos investigadores, consultores y expertos en el tema coinciden en que el inventario de lento movimiento debe tener un adecuado manejo y en que éste merece un tratamiento diferente al del resto del inventario. Lo que funciona para el inventario de rápido movimiento puede no tener resultado con el de lento movimiento.
- Es claro que la presencia de faltantes no tiene el mismo impacto en la producción; dicho impacto depende esencialmente de las características particulares de cada repuesto. Considerar la criticidad como un indicador de la magnitud de dicho problema es un criterio rector<sup>40</sup>. Por ende, mediante el desarrollo de la metodología de Burton Dean y Meir Nishry fue posible proponer un modelo que permite cuantificar de manera objetiva la criticidad de un artículo del inventario en función de ocho variables, las cuales, están agrupadas en tres categorías: de seguridad, operacional y administrativa. La criticidad además de servir como guía a los administradores de inventario para saber a cuales ítems prestar mayor atención, permite categorizar los ítems y con ello, asignar un nivel de servicio diferente y adecuado a cada categoría. Cabe mencionar que la

---

<sup>39</sup> ALTAY, Nizeh y LITTERAL, Lewis. Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control. Reino Unido: Nezh Alta. 2011.

<sup>40</sup> REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de Equipos. Julio, 2005. [en línea]. <http://www.oilproduction.net/jornadasiapg/files/Sesion-1-Analisis%20de%20criticidad%20de%20equipos%20E.pdf> (Acceso: Enero, 2011).

empresa ya manejaba el concepto de criticidad, sin embargo, se vio allí una oportunidad de mejoramiento ya que la metodología actual no es cualitativa y permite la subjetividad.

- A pesar de la plétora de investigaciones en administración de inventarios, relativamente muy pocas han tenido como objeto el inventario llamado de lento movimiento debido quizás, a la falta de cifras históricas observables y a que este tipo de inventario no genera la mayor parte de la demanda ya que, a pesar de ser una porción considerable del inventario presenta demanda baja e infrecuente.
- A pesar de que el método de Suavización Exponencial Simple es la técnica más adoptada para pronosticar la demanda, *“la habilidad de la Suavización Exponencial Simple para pronosticar los ítems de lento movimiento o la demanda intermitente ha sido cuestionada<sup>41</sup>”* Un método que da solución al pronóstico de los ítems de lento movimiento es el propuesto por Croston (1972), posteriormente corregido por Rao (1973). La mayoría de trabajos de demanda intermitente están basados en artículo de Croston (1972), El método Croston consiste en pronosticar por un lado, el tamaño de la demanda no nula y por el otro, el intervalo entre demandas no nulas, ambos pronósticos usan suavización exponencial. Syntetos y Boylan (2001) encontraron un sesgo al método Croston. En el 2005, Syntetos y Boylan (2005) agregan un factor a la fórmula original de Croston arreglando con esto el sesgo. Este método es conocido como el método SBA. En el 2006, Syntetos y Boylan (2006) evaluaron el desempeño del control de stock de la demanda intermitente con 4 métodos: Croston, Suavización Exponencial Simple, SBA y Promedio Móvil. SBA demostró ser el más efectivo.

---

<sup>41</sup> WALLSTROM, Peter. Evaluation of forecasting techniques and forecast errors With focus on intermittent demand. Licentiate Thesis. Lulea: University of Technology. Department of Business Administration and Social Sciences. Mayo, 2009.

- En los enfoques paramétricos para el control de inventarios se necesitan estimaciones de media y varianza basados en el conocimiento acerca de la distribución de demanda durante el lead time; cuando se trata con ítems de rápido movimiento el supuesto de normalidad es suficiente. Sin embargo, esto no es posible asumirse cuando la demanda es irregular o intermitente caracterizada por periodos en los que no ocurre demanda y por tener un tamaño no constante cuando ésta aparece. La distribución normal para caracterizar la demanda durante el tiempo de anticipación (durante el pedido) se considera poco realista para el caso de demanda intermitente. Si el tiempo se considera como continuo, entonces el tamaño de la demanda sigue un proceso Poisson y los intervalos entre demandas siguen una distribución exponencial. En este mismo contexto, si la demanda sigue un proceso Poisson y el tamaño de la demanda siguen una determinada distribución arbitraria se tiene como resultado una distribución compuesta de Poisson. Asumiendo el tiempo como una variable discreta, la demanda sigue un proceso Bernoulli por lo que los intervalos entre demandas siguen una distribución geométrica. Siguiendo en el mismo contexto, si los intervalos entre demandas siguen una distribución geométrica y el tamaño de la demanda sigue una distribución arbitraria, el resultado es una distribución compuesta Binomial.
- El enfoque Bayesiano y el enfoque Bootstrap se han usado de igual forma para hallar el pronósticos de demanda no normal. El primero, estima los parámetros de la distribución a priori de la demanda de inventario y luego determina el nivel del inventario óptimo usando una distribución posteriori. El segundo, es un enfoque no paramétrico. Construye un histograma de la distribución de la demanda a partir del muestreo aleatorio de observaciones individuales de la historia de la demanda. Willemain et al 2004 propusieron un enfoque bootstrap para “pronosticar la distribución de la suma de las demandas intermitentes

sobre un tiempo de suministro fijo”<sup>42</sup> obteniendo resultados más precisos que suavización exponencial simple y Método Croston cuando se trata de tiempos de suministro cortos. Sin embargo, reconocieron problemas con algunos pasos que deben ser mejorados.

- Cerrejón, mediante su proceso de reposición de inventario llevado a cabo periódicamente por los analistas de la división de administración del inventario, procura mantener los niveles óptimos de los repuestos y garantizar un nivel de servicio acordado previamente con el departamento cliente que en este caso es Mantenimiento. Dicho proceso es efectuado gracias a una herramienta tecnológica que proporciona no solo soluciones de gestión de activos (EAM) sino también una planificación de recursos dentro de la organización (ERP) llamada *MIMS* o *Mincom Ellipse*. En el tema del control de existencias, MIMS proporciona una serie de combinaciones de algoritmos para calcular la cantidad a ordenar (ROQ) y el punto de re-orden (ROP) de cada ítem del inventario con base en los patrones históricos de la demanda. En total son 19 combinaciones conformadas por 6 algoritmos asociados al ROP y 2 al ROQ, además de las opciones manuales para cada uno. Entre los algoritmos proporcionados para el ROP se encuentran: promedio variable de 12 periodos, matriz ABC, uso de pronósticos, promedio variable modificado, suavización exponencial simple y suavización adaptable. Por otro lado, los algoritmos para determinar el punto de re-orden son: cantidad económica de ordenes (EOQ) y cantidad de la orden (OQ).
- El tema y los avances que en materia de inventario de lento movimiento existen hasta ahora, eran aún desconocidos para Cerrejón.

---

<sup>42</sup> WILLEMAIN, Thomas; SMART, Charles y SCHWARZ, Henry. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. En: International Journal of Forecasting. 2004, vol.20, No 3.

- Dando continuidad al enfoque actual de Cerrejón, se presentó la aplicación de un método de pronóstico especial para demanda intermitente que es el método *Syntetos-Boylan Aproximation*. De la misma manera se aplicó la política de punto de re-orden (T,r,Q) asumiendo una distribución de demanda gamma, la cual cubre un amplio rango de distribuciones de probabilidad, está definida únicamente para valores positivos y por lo general es matemáticamente tratable en aplicaciones de control de inventarios.
- Las elecciones de los algoritmos se hicieron teniendo en cuenta la robustez y la facilidad de aplicación y de comunicación a la gerencia, el enfoque actual de Cerrejón y por último, el éxito que bajo un contexto similar tuvieron Syntetos et al. (2010) en la aplicación de los mismos.
- Existen oportunidades de mejoramiento en el manejo del inventario de lento movimiento en Cerrejón mediante la implementación de políticas, procedimientos y herramientas especiales para ítems con demanda intermitente. El tema merece gran atención del personal involucrado con la administración de inventario. Si es el caso, millones de dólares de ítems pueden justificar la implementación o actualización de un software.
- Existen diversas formas de categorización de la demanda intermitente que permiten agrupar ítems con características similares como el coeficiente de variación y el intervalo entre demandas. En este sentido la categorización permite que el trabajo de reposición del inventario sea minimizado ya que cada grupo puede abarcar cientos de ítems a los cuales se les puede dar el mismo tratamiento.

## 8. RECOMENDACIONES

- Si bien es cierto que Cerrejón actualmente maneja el concepto de criticidad, también lo es que este punto presenta una oportunidad de mejoramiento. Por lo tanto, se recomienda la implementación de un modelo para cuantificar la criticidad de un ítem entendiéndose ésta como un indicador de la magnitud del problema causado por la falla de un repuesto en el equipo y su simultánea ausencia en el almacén. Dicho modelo puede ser el presentado en este trabajo que a diferencia de la metodología actual, determina la criticidad de manera objetiva en función de ocho variables.
- Adicional a la determinación de la criticidad, se recomienda que una vez formados los grupos donde cada uno abarque un rango del puntaje de criticidad y una asignación de nivel de servicio, se trabaje con el departamento cliente para obtener la manera en que tanto el departamento de materiales como el departamento cliente puedan tener la misma información correspondiente al nivel de servicio real prestado por la administración de inventarios y almacenes así como el seguimiento de los indicadores concernientes a materiales como el de pérdida de disponibilidad de equipos por partes.
- Actualmente, Cerrejón hace la reposición del inventario con el apoyo de *Ellipse*. Sin embargo, dicho software no trae métodos de pronóstico especiales para los patrones de demanda intermitente por lo que se ve aquí una oportunidad de mejoramiento. Se recomienda a Cerrejón la implementación no solamente de los métodos de pronóstico sino también de modelo de inventarios creados especialmente para el manejo de la demanda intermitente o el inventario de lento movimiento. A pesar de que el método de Suavización Exponencial Simple es la técnica más adoptada para pronosticar la demanda,

*“la habilidad de la Suavización Exponencial Simple para pronosticar los ítems de lento movimiento o la demanda intermitente ha sido cuestionada<sup>43</sup>*

- En el mismo orden de ideas del punto anterior, cabe mencionar que para optar por un determinado enfoque que permita hallar una política óptima de cantidad y punto de pedido, se puede hacer una prueba empírica de diversos algoritmos y enfoques como el paramétrico y no paramétrico y de este modo hacer una selección de la mejor técnica que demuestre empíricamente el mejor desempeño, de acuerdo con las necesidades y condiciones de la compañía. Dicha confrontación no se llevó a cabo en este proyecto debido a que no está dentro de los objetivos del mismo, restricciones de tiempo y por tanto su complejidad.
- Otro punto clave de mejoramiento, es el de la categorización de la demanda. Diversos estudios han propuesto sub-agrupaciones de patrones de demanda intermitente con requerimientos de gestión de inventarios similares mediante un esquema de categorización. La implementación de éste proporciona la oportunidad de establecer reglas brindando una configuración automatizada del sistema de inventario y una mejor visión general de los ítems, similar a un análisis ABC. *“Categorizar la demanda consiste en definir grupos o categorías, según las características del patrón de demanda, con el fin de clasificar los distintos tipos de ítems. Conocer a qué categoría de demanda pertenece un ítem, facilita la selección del mejor procedimiento de previsión y gestión de inventarios, de ahí su importancia<sup>44</sup>”*. Una de las principales ventajas es un menor tiempo de procesamiento por parte de los analistas de inventarios en las tareas de reposición del inventario. Cabe mencionar, que si bien Cerrejón

---

<sup>43</sup> WALLSTROM, Peter. Evaluation of forecasting techniques and forecast errors With focus on intermittent demand. Licentiate Thesis. Lulea: University of Technology. Department of Business Administration and Social Sciences. Mayo, 2009.

<sup>44</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL MANAGEMENT. Revisión y clasificación de los métodos de categorización de la demanda. Septiembre, 2007.

emplea el concepto de categorización multicriterio, este no se hace con base en los patrones de demanda. El análisis que Cerrejón emplea para la asignación del algoritmo se hace de forma individual para cada ítem. Como un punto clave de mejoramiento, se recomienda establecer un proceso de categorización global.

- A pesar de la plétora de investigaciones en administración de inventarios, relativamente muy pocas han tenido como objeto el inventario de lento movimiento<sup>45</sup> debido quizás, a la falta de cifras históricas observables y a que este tipo de inventario no genera la mayor parte de la demanda ya que, a pesar de ser una porción considerable del inventario presenta demanda baja e infrecuente<sup>46</sup>. A pesar de lo anterior, con este trabajo se espera que se haya creado conciencia al interior de la organización de que el tema del inventario de lento movimiento aún desconocido para muchos es un tema que cada vez más es abordado en diversas investigaciones, y cada vez más es conocido y manejado por empresas consultoras o incluso por administradores de inventarios en sus propias empresas. La recomendación de la autora es que Cerrejón adopte un esquema de mejoramiento continuo en esta área y de esta manera avance a pasos grandes en el tema ya que expertos en el tema coinciden en que el inventario de lento movimiento debe tener un adecuado manejo y en que éste merece un tratamiento diferente al del resto del inventario.
- Finalmente, la última recomendación va dirigida específicamente a nivelar las habilidades y destrezas que el personal involucrado con la reposición del inventario debe tener. Es fundamental para todo el grupo la comprensión del

---

<sup>45</sup>HOLLIER, R. H., MARK, K. L., y LAM, C. L. Continuous review (s, S) policies for inventory systems incorporating a cut-off transaction size. En: International Journal of Production Research, 1995. Vol. 33.

<sup>46</sup> JOHNSTON, F., BOYLAN, J. y SHALE, E. An examination of the size of orders from customers, their characterization, and the implications for inventory control of slow moving items. En: Journal of the Operational Research Society. Vol. 54

uso de los algoritmos, las variables claves que se consideran y cómo obtener el máximo rendimiento fuera de sus sistemas. El entrenamiento en tan importante aspecto es necesario.

## BIBLIOGRAFÍA

ALTAY, Nizeh y LITTERAL, Lewis. *Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control*. Reino Unido: Nezh Alta. 2011.

BABILONI, María et al. Modelos de Previsión para artículos con demanda Intermitente. En: *International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management*. 2007.

BOYLAN, J.E., 1997. *The Centralisation of Inventory and the Modelling of Demand Unpublished*. Citado por SYNTETOS et al. 2010. . *Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context*. En: *Journal Production Economics*, 2010, p. 107.

CARBONES DEL CERREJON LIMITED. Informe de Sostenibilidad 2009. Centro de Información e Investigaciones División de Comunicaciones de Cerrejón, 2010, [en línea]. [citado Enero, 2011]. Disponible en: [http://www.cerrejoncoal.com/formas/458/Informe\\_2009.pdf](http://www.cerrejoncoal.com/formas/458/Informe_2009.pdf) CERREJÓN.

----- . Informe de Sostenibilidad 2009. Centro de Información e Investigaciones División de Comunicaciones de Cerrejón, 2010. [en línea] En: Página web Cerrejón (Acceso: Enero, 2011).

----- . En: Página web de Cerrejón. [http://www.cerrejoncoal.com/secciones/CERWEB/HOME/MENUPRINCIPAL/QUE\\_HACEMOS/CARACTICASYUSOSDELCARBON/seccion\\_HTML.html](http://www.cerrejoncoal.com/secciones/CERWEB/HOME/MENUPRINCIPAL/QUE_HACEMOS/CARACTICASYUSOSDELCARBON/seccion_HTML.html) (Accesos: Enero, 2011).

CHASE, Richard. *Administración de la Producción y Operaciones*. 10ª ed. México: Mc Graw Hill, 2004.

CROSTON, J., 1972. *Forecasting and stock control for intermittent demand*. *Operational Research Quarterly* 23, 289–303.

DEAN, Burton y NISHRY, Meir. *Scoring and Profitability Models for Evaluating and Selecting Engineering Projects del Institute for Operations Research and the Management Sciences*. Publicado por INFORMS.

EAVES, A.H.C., KINGSMAN, B.G., 2004. *Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts*. *Journal of the Operational Research Society* 55, 431–437.

DOUGLAS, Matthew. *Reliable Prediction Intervals and Bayesian Estimation for Demand Rates of Slow-Moving Inventory*. Tesis de Doctorado. Denton: *University of North Texas*, 2007.

FERNÁNDEZ SEGURA, José. *Mejoramiento del control de inventarios en la organización Codinter Ltda*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Departamento de Sistemas de Producción, 2008. 15 p.

GIRLICH, H. y CHIKAN, A. *The Origins of Dynamic Inventory Modeling under Uncertainty: The men, their work and the connection with the Stanford Studies*. En: *International Journal of Production Economics*, 2001. Vol. 71.

HOLLIER, R. H., MARK, K. L., y LAM, C. L. *Continuous review (s, S) policies for inventory systems incorporating a cut-off transaction size*. En: *International Journal of Production Research*, 1995. Vol. 33.

*INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING & INDUSTRIAL MANAGEMENT*. (11: 5-7, Septiembre, 2007: Madrid, España). Modelos de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia, 2007.

JOHNSTON, F., BOYLAN, J. y SHALE, E. *An examination of the size of orders from customers, their characterization, and the implications for inventory control of slow moving items.* En: *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 54.

LINDSEY, Matthew. *Reliable Prediction Intervals and Bayesian Estimation for Demand Rates of Slow-Moving Inventory.* Tesis de Doctorado. Texas: *University of North Texas*.

MIRAGLIOTTA, G., y STAUDACHER, A. P. (2004). *Exploiting information sharing, stock management and capacity over sizing in the management of lumpy demand.* En: *International Journal of Production Research*, Vol.42.

MUÑOZ, David y MUÑOZ, Diego. Pronósticos Bayesianos para Repuestos de Automóviles Usando Simulación Estocástica. En: *Journal of Economics, Finance and administrative Scienc*, 2009, vol. 14, no. 27.

PATCH, Wayne y WINTLE Fred. Dialogue, Dawson Dialogue; *Slow Moving Inventory, "All dressed up and nowhere to go"*. En: *IDII – Supply Chain Software Research & Consulting*. [en línea]. [http://www.idii.com/wp/dawson\\_inventory.pdf](http://www.idii.com/wp/dawson_inventory.pdf) (Acceso: Enero, 2011).

RAZI, M. y TARN, J. *An applied model for improving inventory management in ERP systems.* En: *Logistics Information Management*, Vol.16.

REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de Equipos. Julio, 2005. [en línea]. <http://www.oilproduction.net/jornadasiapg/files/Sesion-1-Analisis%20de%20criticidad%20de%20equipos%20E.pdf> (Acceso: Enero, 2011).

SARABIA, Ángel. *La Investigación Operativa*. España: Universidad Pontificia de Comillas, 1996. p. 432.

SMITH, Marilyn y BABAI, Zied. *A Review of Bootstrapping for Spare Partas Forecasting*. En: *Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control*. Reino Unido: Nezh Altay y Lewis Letteral. 2011.

SYNTETOS, Aris, et al. *Distributional Assumptions for Parametric Forecasting of Intermittent Demand*. En: *Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control*. Reino Unido: Nezh Altay y Lewis Letteral. 2011.

SYNTETOS, Aris y BOYLAN, John. *Intermittent Demand: Estimation and Statistical Properties*. En: *Service Parts Management: Demand Forecasting and Inventory Control*. Reino Unido: Nezh Altay y Lewis Letteral. 2011.

SYNTETOS et al. *Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context*. En: *Journal Production Economics*, 2010, p. 103 -111.

SYNTETOS et al. *Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context*. En: *Journal Production Economics*, 2010, p. 107.

SYNTETOS, A.A., BOYLAN, J.E., 2001. *On the bias of intermittent demand estimates*. En: *International Journal of Production Economics* 71, 457–466.

SYNTETOS, A.A., BOYLAN, J.E., 2005. *The accuracy of intermittent demand estimates*. En *International Journal of Forecasting* 21, 303–314.

TEUNTER, R., SANI, B., 2009. *On the bias of Croston's method*. En: *European Journal of Operational Research* 194, 177–183.

WALLSTROM, Peter. *Evaluation of forecasting techniques and forecast errors With focus on intermittent demand. Licentiate Thesis. Lulea: University of Technology. Department of Business Administration and Social Sciences. Mayo, 2009.*

WILLEMAIN, Thomas; SMART, Charles y SCHWARZ, Henry. *A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. En: International Journal of Forecasting. 2004, vol.20, No 3.*

**ANEXO A. Resumen de la Evaluación de las Variables para la Determinación de la Criticidad de los ítems**

	0,43 CATEGORÍA DE SEGURIDAD							
	IMPACTO EN				IMPACTO EN MEDIO			
	15,6 SEGURIDAD				19,2 AMBIENTE			
	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>Ítem</b>	10	6,667	3,333	0	10	6,667	3,333	0
17428				0				0
27325				0				0
27366				0				0
27370				0				0
27382				0				0
273973				0				0
273977				0				0
27411				0				0
27426				0				0
27433				0				0
27459				0				0
27736				0				0
28216				0				0
29083				0				0
29345				0				0

	0,367		CATEGORÍA OPERACIONAL										
	IMPACTO EN LA					SOLUCIÓN			FRECUENCIA				
	18,6		OPERACIÓN			11,9		PALIATIVA	10,6		DE USO		
	A	B	C	D	E	A	B	C	A	B	C	D	
Ítem	10	7, 5	5	2,5	0	10	5	0	10	6, 7	3,3	0	
17428					0		5		10				
27325			5			10			10				
27366					0			0	10				
27370			5			10			10				
27382					0			0	10				
273973			5					0	10				
273977			5					0	10				
27411			5					0	10				
27426			5				5		10				
27433					0			0	10				
27459			5			10			10				
27736			5			10			10				
28216			5			10			10				
29083			5				5		10				
29345					0			0	10				

	0,2 CATEGORÍA ADMINISTRATIVA												
	LEAD TIME					VARIABILIDAD DEL					PLAN DE		
	9,17					8,06					6,94		MANTO
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	
<b>Ítem</b>	10	7,5	5	2,5	0	10	7,5	5	2,5	0	10	0	
17428			5				7,5					0	
27325			5			10						0	
27366			5			10					10		
27370		7,5				10						0	
27382			5					5			10		
273973			5					5				0	
273977			5						2,5			0	
27411			5			10					10		
27426	10								2,5		10		
27433				2,5			7,5				10		
27459			5			10						0	
27736			5					5				0	
28216			5			10						0	
29083			5				7,5				10		
29345			5			10					10		

## ANEXO B. Pronóstico de la Demanda

17428

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
1	1	1,3	1,9	1,9	0,69	0,00	28	0	1,4	2,0		0,65	0,56
2	1	1,3	1,9	1	0,68	0,05	29	1	1,4	2,0	2	0,65	0,49
3	1	1,3	1,8	1	0,69	0,08	30	1	1,4	2,0	1	0,65	0,31
4	0	1,3	1,8		0,70	0,09	31	0	1,3	2,0		0,65	0,22
5	2	1,3	1,8	2	0,70	0,29	32	0	1,3	2,0		0,65	0,32
6	0	1,3	1,8		0,71	0,99	33	1	1,3	2,0	3	0,65	0,37
7	0	1,3	1,8		0,71	0,75	34	1	1,3	2,0	1	0,63	0,25
8	1	1,3	1,8	3	0,71	0,63	35	0	1,3	2,0		0,64	0,19
9	1	1,3	1,9	1	0,68	0,36	36	1	1,3	2,0	2	0,64	0,30
10	2	1,3	1,8	1	0,69	0,23	37	0	1,3	2,0		0,63	0,22
11	0	1,3	1,8		0,72	0,98	38	0	1,3	2,0		0,63	0,31
12	0	1,3	1,8		0,72	0,75	39	0	1,3	2,0		0,63	0,35
13	0	1,3	1,8		0,72	0,64	40	2	1,3	2,0	4	0,63	0,38
14	1	1,3	1,8	4	0,72	0,58	41	0	1,3	2,1		0,62	1,12
15	0	1,3	1,9		0,67	0,33	42	2	1,3	2,1	2	0,62	0,75
16	0	1,3	1,9		0,67	0,39	43	0	1,4	2,1		0,63	1,33
17	2	1,3	1,9	3	0,67	0,42	44	0	1,4	2,1		0,63	0,87
18	0	1,3	2,0		0,67	1,09	45	0	1,4	2,1		0,63	0,64
19	0	1,3	2,0		0,67	0,77	46	0	1,4	2,1		0,63	0,52
20	0	1,3	2,0		0,67	0,61	47	0	1,4	2,1		0,63	0,46
21	0	1,3	2,0		0,67	0,53	48	0	1,4	2,1		0,63	0,43
22	1	1,3	2,0	5	0,67	0,49	49	0	1,4	2,1		0,63	0,42
23	0	1,3	2,1		0,61	0,30	50	0	1,4	2,1		0,63	0,41
24	3	1,3	2,1	2	0,61	0,34	51	2	1,4	2,1	9	0,63	0,41
25	1	1,4	2,1	1	0,65	3,01	52	1	1,4	2,4	1	0,56	1,14
26	0	1,4	2,0		0,66	1,57	53		<b><u>1,4</u></b>	<b><u>2,4</u></b>		<b><u>0,57</u></b>	<b><u>0,67</u></b>
27	1	1,4	2,0	2	0,66	1,00							

27325

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
4	1	1,0	2,3	2,3	0,43	0,00	30	1	1,1	2,4	2	0,44	0,77
5	0	1,0	2,3		0,43	0,16	31	0	1,1	2,4		0,44	0,54
6	0	1,0	2,3		0,43	0,17	32	1	1,1	2,4	2	0,44	0,37
7	1	1,0	2,3	3	0,43	0,18	33	3	1,1	2,4	1	0,44	0,34
8	0	1,0	2,3		0,42	0,25	34	0	1,2	2,3		0,50	3,44
9	0	1,0	2,3		0,42	0,21	35	1	1,2	2,3	2	0,50	1,84
10	0	1,0	2,3		0,42	0,20	36	0	1,2	2,3		0,50	1,05
11	1	1,0	2,3	4	0,42	0,19	37	0	1,2	2,3		0,50	0,65
12	1	1,0	2,4	1	0,41	0,26	38	0	1,2	2,3		0,50	0,45
13	0	1,0	2,3		0,42	0,31	39	1	1,2	2,3	4	0,50	0,35
14	1	1,0	2,3	2	0,42	0,24	40	1	1,2	2,4	5	0,47	0,30
15	0	1,0	2,3		0,42	0,29	41	0	1,2	2,5		0,45	0,29
16	1	1,0	2,3	2	0,42	0,23	42	2	1,2	2,5	2	0,45	0,24
17	0	1,0	2,3		0,42	0,28	43	1	1,2	2,5	1	0,47	1,33
18	0	1,0	2,3		0,42	0,23	44	0	1,2	2,4		0,48	0,81
19	1	1,0	2,3	3	0,42	0,21	45	0	1,2	2,4		0,48	0,52
20	0	1,0	2,3		0,42	0,27	46	2	1,2	2,4	3	0,48	0,37
21	2	1,0	2,3	2	0,42	0,22	47	0	1,2	2,4		0,49	1,34
22	0	1,1	2,3		0,44	1,36	48	0	1,2	2,4		0,49	0,79
23	0	1,1	2,3		0,44	0,78	49	0	1,2	2,4		0,49	0,52
24	0	1,1	2,3		0,44	0,49	50	0	1,2	2,4		0,49	0,38
25	1	1,1	2,3	4	0,44	0,34	51	3	1,2	2,4	5	0,49	0,31
26	0	1,0	2,4		0,42	0,33	52	2	1,3	2,6	1	0,50	3,31
27	0	1,0	2,4		0,42	0,25	53		<b>1,4</b>	<b>2,5</b>		<b>0,53</b>	<b>2,78</b>
28	2	1,0	2,4	3	0,42	0,22							
29	0	1,1	2,4		0,44	1,35							

27366

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
5	3	1,6	1,8	1,8	0,87	5	30	3	1,5	2,0	4	0,75	0,52
6	1	1,7	1,8	1	0,90	6	31	0	1,6	2,1		0,74	2,80
7	1	1,6	1,8	1	0,91	7	32	0	1,6	2,1		0,74	1,68
8	1	1,6	1,7	1	0,91	8	33	0	1,6	2,1		0,74	1,12
9	0	1,6	1,7		0,91	9	34	0	1,6	2,1		0,74	0,84
10	1	1,6	1,7	2	0,91	10	35	1	1,6	2,1	5	0,74	0,70
11	0	1,5	1,7		0,89	11	36	0	1,6	2,3		0,68	0,38
12	0	1,5	1,7		0,89	12	37	0	1,6	2,3		0,68	0,42
13	3	1,5	1,7	3	0,89	13	38	0	1,6	2,3		0,68	0,45
14	2	1,6	1,8	4	0,89	14	39	0	1,6	2,3		0,68	0,46
15	0	1,6	1,9		0,85	15	40	1	1,6	2,3	5	0,68	0,46
16	1	1,6	1,9	2	0,85	16	41	0	1,6	2,4		0,63	0,28
17	1	1,6	1,9	1	0,83	17	42	0	1,6	2,4		0,63	0,34
18	2	1,6	1,8	1	0,83	18	43	0	1,6	2,4		0,63	0,37
19	0	1,6	1,8		0,87	19	44	0	1,6	2,4		0,63	0,39
20	0	1,6	1,8		0,87	20	45	0	1,6	2,4		0,63	0,39
21	0	1,6	1,8		0,87	21	46	0	1,6	2,4		0,63	0,40
22	0	1,6	1,8		0,87	22	47	0	1,6	2,4		0,63	0,40
23	1	1,6	1,8	5	0,87	23	48	0	1,6	2,4		0,63	0,40
24	0	1,6	2,0		0,78	24	49	0	1,6	2,4		0,63	0,40
25	0	1,6	2,0		0,78	25	50	0	1,6	2,4		0,63	0,40
26	1	1,6	2,0	3	0,78	26	51	0	1,6	2,4		0,63	0,40
27	0	1,5	2,0		0,75	27	52	0	1,6	2,4		0,63	0,40
28	0	1,5	2,0		0,75	28	53		<b><u>1,6</u></b>	<b><u>2,4</u></b>		<b><u>0,63</u></b>	<b><u>0,40</u></b>
29	0	1,5	2,0		0,75	0,49							

27370

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
2	2	2,0	1,8	1,8	1,10	0,00	28	1	2,0	1,8	2	1,07	0,75
3	0	2,0	1,8		1,10	0,41	29	2	1,9	1,8	1	1,04	0,38
4	3	2,0	1,8	2	1,10	0,80	30	1	1,9	1,8	1	1,06	0,65
5	2	2,1	1,8	1	1,12	2,21	31	0	1,9	1,7		1,06	0,33
6	0	2,0	1,8		1,14	1,50	32	0	1,9	1,7		1,06	0,73
7	0	2,0	1,8		1,14	1,40	33	0	1,9	1,7		1,06	0,93
8	0	2,0	1,8		1,14	1,35	34	0	1,9	1,7		1,06	1,03
9	2	2,0	1,8	4	1,14	1,33	35	0	1,9	1,7		1,06	1,08
10	3	2,0	1,9	1	1,07	1,03	36	6	1,9	1,7	6	1,06	1,10
11	0	2,1	1,8		1,12	2,38	37	0	2,1	1,9		1,05	12,75
12	3	2,1	1,8	2	1,12	1,82	38	0	2,1	1,9		1,05	6,92
13	0	2,1	1,8		1,14	2,67	39	1	2,1	1,9	3	1,05	4,01
14	1	2,1	1,8	2	1,14	1,99	40	2	2,0	2,0	1	0,99	2,01
15	1	2,1	1,8	1	1,10	1,00	41	5	2,0	1,9	1	1,02	1,51
16	0	2,0	1,8		1,10	0,51	42	0	2,2	1,9		1,12	8,68
17	1	2,0	1,8	2	1,10	0,86	43	1	2,2	1,9	2	1,12	4,97
18	0	2,0	1,8		1,07	0,43	44	0	2,1	1,9		1,09	2,49
19	0	2,0	1,8		1,07	0,79	45	0	2,1	1,9		1,09	1,84
20	3	2,0	1,8	3	1,07	0,96	46	2	2,1	1,9	3	1,09	1,51
21	0	2,0	1,9		1,06	2,35	47	0	2,1	2,0		1,05	1,17
22	3	2,0	1,9	2	1,06	1,74	48	0	2,1	2,0		1,05	1,14
23	0	2,1	1,9		1,08	2,75	49	2	2,1	2,0	3	1,05	1,12
24	2	2,1	1,9	2	1,08	1,96	50	0	2,1	2,0		1,02	1,01
25	1	2,1	1,9	1	1,08	1,40	51	0	2,1	2,0		1,02	1,03
26	1	2,0	1,8	1	1,07	0,70	52	0	2,1	2,0		1,02	1,04
27	0	2,0	1,8		1,07	0,35	53		<b><u>2,1</u></b>	<b><u>2,0</u></b>		<b><u>1,02</u></b>	<b><u>1,04</u></b>

27382

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
2	1	1,3	2,1	2,1	0,57	0,00	28	0	1,2	2,5		0,47	0,27
3	2	1,2	2,1	1	0,56	0,09	29	0	1,2	2,5		0,47	0,25
4	0	1,3	2,1		0,60	1,08	30	0	1,2	2,5		0,47	0,24
5	0	1,3	2,1		0,60	0,72	31	0	1,2	2,5		0,47	0,23
6	2	1,3	2,1	3	0,60	0,54	32	2	1,2	2,5	5	0,47	0,23
7	0	1,3	2,1		0,60	1,25	33	0	1,2	2,6		0,47	1,28
8	1	1,3	2,1	2	0,60	0,81	34	0	1,2	2,6		0,47	0,75
9	0	1,3	2,1		0,60	0,48	35	0	1,2	2,6		0,47	0,48
10	1	1,3	2,1	2	0,60	0,42	36	0	1,2	2,6		0,47	0,35
11	0	1,3	2,1		0,59	0,29	37	1	1,2	2,6	5	0,47	0,28
12	0	1,3	2,1		0,59	0,32	38	0	1,2	2,7		0,44	0,28
13	1	1,3	2,1	3	0,59	0,33	39	1	1,2	2,7	2	0,44	0,24
14	0	1,3	2,2		0,57	0,25	40	1	1,2	2,7	1	0,44	0,28
15	0	1,3	2,2		0,57	0,29	41	0	1,2	2,6		0,45	0,29
16	1	1,3	2,2	3	0,57	0,31	42	0	1,2	2,6		0,45	0,25
17	1	1,3	2,2	1	0,55	0,25	43	0	1,2	2,6		0,45	0,23
18	0	1,2	2,1		0,56	0,22	44	0	1,2	2,6		0,45	0,22
19	0	1,2	2,1		0,56	0,27	45	0	1,2	2,6		0,45	0,21
20	0	1,2	2,1		0,56	0,29	46	0	1,2	2,6		0,45	0,21
21	0	1,2	2,1		0,56	0,31	47	0	1,2	2,6		0,45	0,21
22	0	1,2	2,1		0,56	0,31	48	0	1,2	2,6		0,45	0,21
23	1	1,2	2,1	6	0,56	0,32	49	0	1,2	2,6		0,45	0,21
24	1	1,2	2,3	7	0,51	0,25	50	0	1,2	2,6		0,45	0,21
25	0	1,2	2,6		0,46	0,24	51	0	1,2	2,6		0,45	0,20
26	1	1,2	2,6	2	0,46	0,23	52	2	1,2	2,6	12	0,45	0,20
27	1	1,2	2,5	1	0,46	0,26	53		<b>1,2</b>	<b>3,1</b>		<b>0,40</b>	<b>1,30</b>

273973

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
2	1	1,1	2,1	2,1	0,52	0,00	28	2	1,1	2,4	2	0,44	0,22
3	0	1,1	2,1		0,51	0,12	29	0	1,2	2,4		0,47	1,32
4	0	1,1	2,1		0,51	0,19	30	0	1,2	2,4		0,47	0,77
5	1	1,1	2,1	3	0,51	0,23	31	0	1,2	2,4		0,47	0,49
6	0	1,1	2,2		0,50	0,23	32	0	1,2	2,4		0,47	0,35
7	1	1,1	2,2	5	0,50	0,24	33	0	1,2	2,4		0,47	0,29
8	0	1,1	2,3		0,47	0,25	34	0	1,2	2,4		0,47	0,25
9	1	1,1	2,3	2	0,47	0,23	35	0	1,2	2,4		0,47	0,23
10	2	1,1	2,3	1	0,47	0,26	36	0	1,2	2,4		0,47	0,22
11	0	1,1	2,2		0,50	1,30	37	0	1,2	2,4		0,47	0,22
12	0	1,1	2,2		0,50	0,78	38	0	1,2	2,4		0,47	0,22
13	0	1,1	2,2		0,50	0,51	39	0	1,2	2,4		0,47	0,22
14	0	1,1	2,2		0,50	0,38	40	1	1,2	2,4	12	0,47	0,22
15	0	1,1	2,2		0,50	0,32	41	0	1,1	2,9		0,39	0,25
16	1	1,1	2,2	6	0,50	0,28	42	3	1,1	2,9	2	0,39	0,20
17	1	1,1	2,4	1	0,46	0,27	43	0	1,2	2,9		0,42	3,52
18	1	1,1	2,3	1	0,47	0,28	44	0	1,2	2,9		0,42	1,85
19	0	1,1	2,3		0,48	0,28	45	0	1,2	2,9		0,42	1,01
20	0	1,1	2,3		0,48	0,26	46	1	1,2	2,9	4	0,42	0,60
21	1	1,1	2,3	3	0,48	0,24	47	1	1,2	2,9	1	0,41	0,46
22	0	1,1	2,3		0,47	0,26	48	0	1,2	2,8		0,42	0,41
23	0	1,1	2,3		0,47	0,24	49	0	1,2	2,8		0,42	0,29
24	0	1,1	2,3		0,47	0,23	50	1	1,2	2,8	3	0,42	0,23
25	0	1,1	2,3		0,47	0,23	51		<b><u>1,2</u></b>	<b><u>2,8</u></b>		<b><u>0,42</u></b>	<b><u>0,28</u></b>
26	1	1,1	2,3	5	0,47	0,22							
27	0	1,1	2,4		0,44	0,25							

273977

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
3	1	1,0	6,3	6,3	0,15	0,00	30	0	1,0	6,4		0,16	0,42
4	1	1,0	6,3	1	0,15	0,36	31	0	1,0	6,4		0,16	0,22
5	0	1,0	6,1		0,16	0,54	32	1	1,0	6,4	3	0,16	0,12
6	0	1,0	6,1		0,16	0,28	33	0	1,0	6,2		0,16	0,41
7	0	1,0	6,1		0,16	0,15	34	1	1,0	6,2	2	0,16	0,22
8	0	1,0	6,1		0,16	0,09	35	2	1,0	6,0	1	0,17	0,46
9	0	1,0	6,1		0,16	0,06	36	1	1,1	5,7	1	0,19	1,90
10	0	1,0	6,1		0,16	0,04	37	0	1,1	5,5		0,19	1,28
11	0	1,0	6,1		0,16	0,03	38	0	1,1	5,5		0,19	0,66
12	0	1,0	6,1		0,16	0,03	39	0	1,1	5,5		0,19	0,35
13	0	1,0	6,1		0,16	0,03	40	0	1,1	5,5		0,19	0,19
14	0	1,0	6,1		0,16	0,03	41	0	1,1	5,5		0,19	0,11
15	0	1,0	6,1		0,16	0,03	42	2	1,1	5,5	6	0,19	0,08
16	0	1,0	6,1		0,16	0,03	43	2	1,1	5,5	1	0,20	1,67
17	0	1,0	6,1		0,16	0,03	44	0	1,2	5,3		0,22	2,46
18	0	1,0	6,1		0,16	0,03	45	1	1,2	5,3	2	0,22	1,25
19	0	1,0	6,1		0,16	0,03	46	1	1,2	5,1	1	0,22	0,93
20	0	1,0	6,1		0,16	0,03	47	2	1,2	4,9	1	0,23	0,77
21	2	1,0	6,1	17	0,16	0,03	48	1	1,2	4,7	1	0,25	1,95
22	0	1,1	6,6		0,15	1,70	49	1	1,2	4,5	1	0,26	1,26
23	0	1,1	6,6		0,15	0,86	50	1	1,2	4,4	1	0,26	0,91
24	0	1,1	6,6		0,15	0,44	51	2	1,2	4,2	1	0,27	0,72
25	0	1,1	6,6		0,15	0,23	52	0	1,2	4,0		0,29	1,86
26	1	1,1	6,6	5	0,15	0,13	53		<b><u>1,2</u></b>	<b><u>4,0</u></b>		<b><u>0,29</u></b>	<b><u>0,97</u></b>
27	0	1,0	6,5		0,16	0,42							
28	0	1,0	6,5		0,16	0,22							

27411

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
2	1	1,0	2,8	2,8	0,34	0,00	28	1	1,1	2,9	2	0,38	0,26
3	0	1,0	2,8		0,34	0,22	29	1	1,1	2,9	1	0,38	0,33
4	1	1,0	2,8	2	0,34	0,17	30	2	1,1	2,8	1	0,39	0,35
5	1	1,0	2,8	1	0,35	0,30	31	0	1,2	2,7		0,42	1,47
6	0	1,0	2,7		0,36	0,36	32	0	1,2	2,7		0,42	0,82
7	0	1,0	2,7		0,36	0,25	33	1	1,2	2,7	3	0,42	0,50
8	0	1,0	2,7		0,36	0,19	34	0	1,1	2,7		0,41	0,42
9	0	1,0	2,7		0,36	0,16	35	0	1,1	2,7		0,41	0,30
10	1	1,0	2,7	5	0,36	0,14	36	1	1,1	2,7	3	0,41	0,23
11	0	1,0	2,8		0,35	0,28	37	0	1,1	2,7		0,41	0,29
12	1	1,0	2,8	2	0,35	0,20	38	0	1,1	2,7		0,41	0,23
13	0	1,0	2,8		0,35	0,31	39	0	1,1	2,7		0,41	0,20
14	0	1,0	2,8		0,35	0,22	40	0	1,1	2,7		0,41	0,18
15	0	1,0	2,8		0,35	0,17	41	0	1,1	2,7		0,41	0,18
16	0	1,0	2,8		0,35	0,15	42	0	1,1	2,7		0,41	0,17
17	0	1,0	2,8		0,35	0,14	43	0	1,1	2,7		0,41	0,17
18	0	1,0	2,8		0,35	0,13	44	0	1,1	2,7		0,41	0,17
19	4	1,0	2,8	7	0,35	0,13	45	0	1,1	2,7		0,41	0,17
20	0	1,2	3,0		0,38	6,72	46	0	1,1	2,7		0,41	0,17
21	1	1,2	3,0	2	0,38	3,43	47	0	1,1	2,7		0,41	0,17
22	1	1,1	2,9	1	0,38	1,91	48	0	1,1	2,7		0,41	0,17
23	0	1,1	2,8		0,39	1,15	49	0	1,1	2,7		0,41	0,17
24	0	1,1	2,8		0,39	0,65	50	0	1,1	2,7		0,41	0,17
25	1	1,1	2,8	3	0,39	0,40	51	0	1,1	2,7		0,41	0,17
26	1	1,1	2,8	4	0,39	0,39	52	0	1,1	2,7		0,41	0,17
27	0	1,1	2,9		0,38	0,38	53		<b><u>1,1</u></b>	<b><u>2,7</u></b>		<b><u>0,41</u></b>	<b><u>0,17</u></b>

27426

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
8	2	3,8	2,5	2,5	1,48	0,00	31	0	3,7	2,9		1,24	1,14
9	1	3,7	2,5	1	1,45	0,13	32	4	3,7	2,9	2	1,24	1,34
10	4	3,6	2,4	1	1,44	0,17	33	2	3,7	2,8	1	1,27	4,48
11	0	3,6	2,4		1,49	3,37	34	0	3,6	2,7		1,28	2,51
12	4	3,6	2,4	2	1,49	2,79	35	0	3,6	2,7		1,28	2,07
13	8	3,6	2,3	1	1,51	4,55	36	2	3,6	2,7	3	1,28	1,85
14	0	3,8	2,3		1,65	23,34	37	0	3,5	2,8		1,24	1,19
15	0	3,8	2,3		1,65	13,03	38	2	3,5	2,8	2	1,24	1,37
16	0	3,8	2,3		1,65	7,87	39	0	3,4	2,7		1,23	0,97
17	0	3,8	2,3		1,65	5,29	40	8	3,4	2,7	2	1,23	1,25
18	0	3,8	2,3		1,65	4,00	41	0	3,7	2,7		1,33	23,51
19	0	3,8	2,3		1,65	3,36	42	0	3,7	2,7		1,33	12,65
20	0	3,8	2,3		1,65	3,04	43	0	3,7	2,7		1,33	7,21
21	0	3,8	2,3		1,65	2,88	44	0	3,7	2,7		1,33	4,50
22	0	3,8	2,3		1,65	2,80	45	0	3,7	2,7		1,33	3,14
23	2	3,8	2,3	10	1,65	2,76	46	0	3,7	2,7		1,33	2,46
24	0	3,7	2,7		1,37	1,44	47	0	3,7	2,7		1,33	2,12
25	0	3,7	2,7		1,37	1,66	48	2	3,7	2,7	8	1,33	1,95
26	0	3,7	2,7		1,37	1,78	49	2	3,6	2,9	1	1,19	1,20
27	0	3,7	2,7		1,37	1,83	50	0	3,5	2,8		1,20	0,93
28	0	3,7	2,7		1,37	1,86	51	2	3,5	2,8	2	1,20	1,18
29	0	3,7	2,7		1,37	1,87	52	0	3,4	2,8		1,19	0,91
30	2	3,7	2,7	7	1,37	1,88	53		<b><u>3,4</u></b>	<b><u>2,8</u></b>		<b><u>1,19</u></b>	<b><u>1,17</u></b>

27433

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
1	1	1,0	8,5	8,5	0,11	0,00	28	1	1,0	7,0	1	0,15	0,86
2	0	1,0	8,5		0,11	0,39	29	0	1,0	6,7		0,15	0,79
3	0	1,0	8,5		0,11	0,20	30	1	1,0	6,7	2	0,15	0,41
4	0	1,0	8,5		0,11	0,11	31	0	1,0	6,4		0,16	0,56
5	0	1,0	8,5		0,11	0,06	32	1	1,0	6,4	2	0,16	0,29
6	0	1,0	8,5		0,11	0,04	33	1	1,0	6,2	1	0,16	0,50
7	0	1,0	8,5		0,11	0,02	34	0	1,0	6,0		0,17	0,60
8	0	1,0	8,5		0,11	0,02	35	2	1,0	6,0	2	0,17	0,31
9	0	1,0	8,5		0,11	0,02	36	0	1,1	5,8		0,18	1,83
10	0	1,0	8,5		0,11	0,01	37	0	1,1	5,8		0,18	0,93
11	0	1,0	8,5		0,11	0,01	38	1	1,1	5,8	3	0,18	0,48
12	0	1,0	8,5		0,11	0,01	39	0	1,1	5,6		0,19	0,57
13	0	1,0	8,5		0,11	0,01	40	0	1,1	5,6		0,19	0,30
14	0	1,0	8,5		0,11	0,01	41	2	1,1	5,6	3	0,19	0,17
15	0	1,0	8,5		0,11	0,01	42	0	1,1	5,5		0,20	1,73
16	0	1,0	8,5		0,11	0,01	43	0	1,1	5,5		0,20	0,88
17	1	1,0	8,5	16	0,11	0,01	44	1	1,1	5,5	3	0,20	0,46
18	0	1,0	8,9		0,11	0,40	45	0	1,1	5,4		0,20	0,55
19	0	1,0	8,9		0,11	0,21	46	1	1,1	5,4	2	0,20	0,30
20	1	1,0	8,9	3	0,11	0,11	47	1	1,1	5,2	1	0,21	0,46
21	1	1,0	8,6	1	0,11	0,45	48	0	1,1	5,0		0,22	0,54
22	1	1,0	8,2	1	0,12	0,62	49	0	1,1	5,0		0,22	0,30
23	1	1,0	7,8	1	0,12	0,70	50	0	1,1	5,0		0,22	0,17
24	0	1,0	7,5		0,13	0,73	51	1	1,1	5,0	4	0,22	0,11
25	2	1,0	7,5	2	0,13	0,37	52	0	1,1	4,9		0,22	0,36
26	0	1,1	7,2		0,14	1,94	53		<b>1,1</b>	<b>4,9</b>		<b>0,22</b>	<b>0,20</b>
27	1	1,1	7,2	2	0,14	0,98							

27459

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
6	1	1,3	4,8	4,8	0,27	0,00	30	0	1,4	4,2		0,33	0,57
7	1	1,3	4,8	1	0,27	0,27	31	0	1,4	4,2		0,33	0,34
8	0	1,3	4,6		0,28	0,40	32	1	1,4	4,2	6	0,33	0,22
9	0	1,3	4,6		0,28	0,24	33	1	1,4	4,3	1	0,31	0,34
10	0	1,3	4,6		0,28	0,16	34	1	1,4	4,1	1	0,32	0,40
11	0	1,3	4,6		0,28	0,12	35	1	1,3	4,0	1	0,33	0,43
12	1	1,3	4,6	5	0,28	0,10	36	1	1,3	3,8	1	0,34	0,44
13	0	1,3	4,6		0,27	0,31	37	0	1,3	3,7		0,35	0,44
14	0	1,3	4,6		0,27	0,19	38	0	1,3	3,7		0,35	0,28
15	0	1,3	4,6		0,27	0,13	39	0	1,3	3,7		0,35	0,20
16	0	1,3	4,6		0,27	0,10	40	2	1,3	3,7	4	0,35	0,16
17	3	1,3	4,6	5	0,27	0,09	41	0	1,3	3,7		0,35	1,45
18	0	1,4	4,6		0,29	3,77	42	0	1,3	3,7		0,35	0,79
19	1	1,4	4,6	2	0,29	1,93	43	1	1,3	3,7	3	0,35	0,46
20	1	1,4	4,5	1	0,29	1,22	44	0	1,3	3,7		0,35	0,44
21	0	1,3	4,3		0,30	0,86	45	0	1,3	3,7		0,35	0,28
22	0	1,3	4,3		0,30	0,47	46	1	1,3	3,7	3	0,35	0,20
23	0	1,3	4,3		0,30	0,28	47	0	1,3	3,6		0,35	0,31
24	0	1,3	4,3		0,30	0,19	48	3	1,3	3,6	2	0,35	0,22
25	1	1,3	4,3	5	0,30	0,14	49	1	1,4	3,5	1	0,38	3,61
26	3	1,3	4,4	1	0,29	0,31	50	0	1,4	3,4		0,39	2,00
27	0	1,4	4,2		0,33	3,82	51	2	1,4	3,4	2	0,39	1,08
28	0	1,4	4,2		0,33	1,96	52	0	1,4	3,4		0,41	1,83
29	0	1,4	4,2		0,33	1,03	53		<b><u>1,4</u></b>	<b><u>3,4</u></b>		<b><u>0,41</u></b>	<b><u>1,00</u></b>

27736

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
2	2	1,9	1,5	1,5	1,24	0,00	29	1	1,9	1,8	1	1,06	1,16
3	2	1,9	1,5	1	1,23	0,29	30	2	1,9	1,7	1	1,06	0,58
4	1	1,9	1,5	1	1,25	0,44	31	0	1,9	1,7		1,09	0,73
5	0	1,8	1,5		1,24	0,25	32	0	1,9	1,7		1,09	0,96
6	2	1,8	1,5	2	1,24	0,90	33	0	1,9	1,7		1,09	1,07
7	5	1,9	1,5	1	1,22	0,74	34	0	1,9	1,7		1,09	1,12
8	1	2,0	1,5	1	1,35	7,49	35	1	1,9	1,7	5	1,09	1,15
9	0	2,0	1,4		1,34	3,81	36	1	1,8	1,8	1	0,97	0,58
10	0	2,0	1,4		1,34	2,80	37	0	1,8	1,8		0,97	0,29
11	0	2,0	1,4		1,34	2,29	38	1	1,8	1,8	2	0,97	0,61
12	1	2,0	1,4	4	1,34	2,04	39	2	1,7	1,8	1	0,94	0,31
13	2	1,9	1,6	1	1,20	1,08	40	2	1,8	1,8	1	0,97	0,72
14	1	1,9	1,5	1	1,22	0,86	41	0	1,8	1,7		1,00	0,89
15	0	1,9	1,5		1,21	0,45	42	1	1,8	1,7	2	1,00	0,94
16	2	1,9	1,5	3	1,21	0,96	43	0	1,7	1,7		0,97	0,47
17	0	1,9	1,6		1,16	0,79	44	1	1,7	1,7	2	0,97	0,70
18	0	1,9	1,6		1,16	1,07	45	0	1,7	1,8		0,94	0,35
19	0	1,9	1,6		1,16	1,21	46	0	1,7	1,8		0,94	0,62
20	0	1,9	1,6		1,16	1,28	47	0	1,7	1,8		0,94	0,75
21	0	1,9	1,6		1,16	1,31	48	0	1,7	1,8		0,94	0,82
22	1	1,9	1,6	6	1,16	1,33	49	0	1,7	1,8		0,94	0,85
23	2	1,8	1,8	1	0,99	0,68	50	0	1,7	1,8		0,94	0,87
24	4	1,8	1,8	1	1,02	0,84	51	1	1,7	1,8	7	0,94	0,87
25	1	2,0	1,7	1	1,10	4,86	52	0	1,7	2,0		0,80	0,44
27	0	1,9	1,7		1,10	1,82	53		<u>1,7</u>	<u>2,0</u>		<u>0,80</u>	<u>0,54</u>
28	2	1,9	1,7	3	1,10	1,52							

28216

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE	Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
2	1	1,2	2,5	2,5			28	1	1,4	2,3	1	0,61	0,65
3	1	1,2	2,5	1	0,47	0,50	29	0	1,4	2,2		0,62	0,40
4	0	1,2	2,4		0,48	0,39	30	2	1,4	2,2	2	0,62	0,39
5	0	1,2	2,4		0,48	0,31	31	0	1,4	2,2		0,64	1,15
6	1	1,2	2,4	3	0,48	0,27	32	0	1,4	2,2		0,64	0,78
7	0	1,2	2,5		0,47	0,27	33	0	1,4	2,2		0,64	0,59
8	0	1,2	2,5		0,47	0,25	34	0	1,4	2,2		0,64	0,50
9	1	1,2	2,5	3	0,47	0,23	35	0	1,4	2,2		0,64	0,45
10	0	1,2	2,5		0,46	0,26	36	0	1,4	2,2		0,64	0,43
11	0	1,2	2,5		0,46	0,23	37	0	1,4	2,2		0,64	0,42
12	2	1,2	2,5	3	0,46	0,22	38	0	1,4	2,2		0,64	0,41
13	0	1,2	2,5		0,47	1,30	39	0	1,4	2,2		0,64	0,41
14	0	1,2	2,5		0,47	0,76	40	0	1,4	2,2		0,64	0,41
15	0	1,2	2,5		0,47	0,49	41	0	1,4	2,2		0,64	0,40
16	1	1,2	2,5	4	0,47	0,36	42	0	1,4	2,2		0,64	0,40
17	0	1,2	2,6		0,45	0,32	43	0	1,4	2,2		0,64	0,40
18	0	1,2	2,6		0,45	0,26	44	0	1,4	2,2		0,64	0,40
19	0	1,2	2,6		0,45	0,23	45	0	1,4	2,2		0,64	0,40
20	4	1,2	2,6	4	0,45	0,22	46	0	1,4	2,2		0,64	0,40
21	2	1,3	2,7	1	0,49	6,40	47	0	1,4	2,2		0,64	0,40
22	1	1,4	2,6	1	0,52	4,33	48	0	1,4	2,2		0,64	0,40
23	4	1,4	2,5	1	0,53	2,28	49	0	1,4	2,2		0,64	0,40
24	1	1,5	2,4	1	0,60	7,16	50	1	1,4	2,2	20	0,64	0,40
25	1	1,5	2,3	1	0,61	3,66	51	0	1,4	3,1		0,44	0,27
26	0	1,4	2,3		0,62	1,91	52	0	1,4	3,1		0,44	0,23
27	1	1,4	2,3	2	0,62	1,14	53		<b>1,4</b>	<b>3,1</b>		<b>0,44</b>	<b>0,22</b>

29345

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
1	3	2,3	1,9	1,9	1,17	0,00
2	1	2,3	1,9	1	1,19	1,67
3	2	2,2	1,8	1	1,18	0,86
4	5	2,2	1,8	1	1,21	0,76
5	0	2,4	1,8		1,31	7,58
6	0	2,4	1,8		1,31	4,65
7	1	2,4	1,8	3	1,31	3,18
8	0	2,3	1,8		1,23	1,64
9	0	2,3	1,8		1,23	1,57
10	0	2,3	1,8		1,23	1,54
11	0	2,3	1,8		1,23	1,53
12	1	2,3	1,8	5	1,23	1,52
13	0	2,2	2,0		1,10	0,78
14	3	2,2	2,0	2	1,10	0,99
15	2	2,3	2,0	1	1,12	2,31
16	0	2,2	1,9		1,14	1,54
17	0	2,2	1,9		1,14	1,42
18	0	2,2	1,9		1,14	1,36
19	0	2,2	1,9		1,14	1,33
20	1	2,2	1,9	5	1,14	1,31
21	0	2,2	2,1		1,02	0,66
22	0	2,2	2,1		1,02	0,86
23	1	2,2	2,1	3	1,02	0,95
24	2	2,1	2,1	1	0,97	0,48
25	1	2,1	2,1	1	1,00	0,76
26	0	2,1	2,0		1,00	0,38
27	0	2,1	2,0		1,00	0,69

Periodo	Demanda	Z't	T't	T	Ft	MSE
28	0	2,1	2,0		1,00	0,84
29	1	2,1	2,0	4	1,00	0,92
30	0	2,0	2,1		0,93	0,46
31	1	2,0	2,1	2	0,93	0,66
32	0	2,0	2,1		0,91	0,33
33	0	2,0	2,1		0,91	0,58
34	1	2,0	2,1	3	0,91	0,70
35	0	1,9	2,2		0,87	0,35
36	2	1,9	2,2	2	0,87	0,55
37	0	1,9	2,1		0,87	0,92
38	0	1,9	2,1		0,87	0,84
39	0	1,9	2,1		0,87	0,80
40	0	1,9	2,1		0,87	0,78
41	2	1,9	2,1	5	0,87	0,77
42	0	1,9	2,3		0,82	1,02
43	0	1,9	2,3		0,82	0,85
44	0	1,9	2,3		0,82	0,76
45	0	1,9	2,3		0,82	0,71
46	0	1,9	2,3		0,82	0,69
47	0	1,9	2,3		0,82	0,68
48	0	1,9	2,3		0,82	0,67
49	0	1,9	2,3		0,82	0,67
50	3	1,9	2,3	9	0,82	0,67
51	0	2,0	2,6		0,73	2,72
52	0	2,0	2,6		0,73	1,63
53		<b><u>2,0</u></b>	<b><u>2,6</u></b>		<b><u>0,73</u></b>	<b><u>1,08</u></b>

### ANEXO C. Parámetros de la Política de Inventario

<b>Código del Stock</b>	<b>CSL</b>	<b><math>r_{53}</math></b>	<b>Q</b>
17428	70	6	9
27325	95	6	3
27366	70	7	4
27370	95	23	1
27382	70	4	11
273973	80	4	5
273977	80	6	8
27411	90	3	5
27426	90	33	4
27433	70	1	7
27459	95	10	2
27736	90	12	1
28216	95	5	11
29083	90	43	15
29345	70	8	13