



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Diseño de una propuesta de gestión de abastecimiento e inventarios para un astillero en Colombia**

**María Alejandra Otero Pineda**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Bogotá D. C., Colombia

2012

# **Diseño de una propuesta de gestión de abastecimiento e inventarios para un astillero en Colombia**

**María Alejandra Otero Pineda**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:**

**Magíster en Ingeniería Industrial**

**Director:**

**MSc. Luis Gerardo Astaiza**

**Codirector:**

**Ph.D. Wilson Adarme Jaimes**

**Universidad Nacional de Colombia**

**Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial**

**Bogotá D. C., Colombia**

**2011**

# Agradecimientos

A LUIS GERARDO ASTAIZA, MSc., profesor de la Universidad Nacional de Colombia y director de este Trabajo de Grado, por su orientación, colaboración y apoyo.

A la CORPORACIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA NAVAL, MARÍTIMA Y FLUVIAL, por su colaboración y disposición para el desarrollo del trabajo.

Al grupo de investigadores que me acompañaron en la realización del proyecto en COTECMAR, por su importante apoyo y guía en la culminación del trabajo.

A el cuerpo docente de la Maestría en Ingeniería Industrial por la formación recibida.

A mi familia y amigos por su apoyo incondicional

## Resumen

La importancia del sector astillero como industria clave para el desarrollo económico del país y la complejidad de la administración de la cadena de suministro de empresas con un alto grado de especificación como los astilleros, demandan un adecuado diseño de modelos y reglas que permitan establecer un modo de acción y definir políticas y estrategias para la gestión de la cadena logística. Por ello, en este trabajo se desarrolla un sistema de gestión de abastecimiento e inventarios para un astillero en Colombia con el fin de establecer estrategias para el aprovisionamiento y almacenamiento de los materiales necesarios para la construcción y reparación de buques, lo que permitirá mejorar la competitividad de la empresa a través de la disminución de los tiempos de respuesta y los costos logísticos y la mejora del nivel de servicio en el suministro de bienes.

**Palabras clave:** astillero, cadena de suministro, gestión de abastecimiento, inventarios, costos logísticos

## Abstract

The importance of shipbuilding as a key industry for economic development and the complexity of managing the supply chain in companies with a high level of specifications such as shipyards, require an adequate design of models and rules that allow establishing a way of action and defining policies and strategies for managing the supply chain. Therefore, a system of supply and inventory management to a shipyard in Colombia to develop strategies for procurement and storage of materials needed for construction and repair of ships is developed in this thesis, which will improve the company competitiveness through reduced response times and logistic costs and improved service levels in the supply of goods.

**Keywords:** shipyard, supply chain, supply chain management, inventory, logistic costs

# Contenido

Introducción .....	10
1. Antecedentes .....	13
2. Caracterización de los procesos de abastecimiento y almacenamiento .....	30
2.1 Abastecimiento.....	30
2.2 Almacenamiento.....	36
3. Estimación del costo de la operación logística.....	48
3.1 Costo de mantener.....	48
3.2 Costo de ordenar.....	52
4. Modelo de clasificación de materiales para el abastecimiento.....	55
4.1 Procedimiento .....	55
4.2 Desarrollo del modelo de clasificación .....	59
4.2.1 Selección de variables .....	59
4.2.2 Ponderación de variables y calificación de bienes.....	61
4.2.3 Preclasificación de bienes.....	72
4.3 Resultados .....	74
4.3.1 Clasificación en la matriz de kraljic .....	75
4.4 Estrategias .....	78
4.4.1 Estrategias para bienes rutinarios.....	78
4.4.2 Estrategias para bienes cuello de botella.....	79
4.4.3 Estrategias para bienes palanca .....	80
4.4.4 Estrategias para bienes críticos .....	81
4.4.5 Análisis de proveedores para la aplicación de estrategias.....	81
5. Sistema de control y gestión de inventarios.....	86
5.1 Materiales de stock .....	87
5.2 Modelo de gestión de materiales de stock .....	90

---

6. Conclusiones y recomendaciones .....	97
Anexos .....	101
Anexo A. Estimación del Costo de Mantener.....	101
Anexo B. Estimación del costo de ordenar.....	101
Anexo C. Encuesta de Selección de variables de evaluación de bienes. ....	101
Anexo D. Encuesta de Ponderación de variables y calificación de bienes.....	101
Anexo E. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados.....	101
Anexo F. Programación AHP difuso y clasificación - Reparaciones.....	101
Anexo G. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados – Construcciones.....	101
Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación – Construcciones.....	101
Anexo I. Modelo de gestión de inventarios.....	101
Bibliografía.....	102

## Lista de figuras

<b>Gráfico 1.</b> Inventario de seguridad para diferentes comportamientos de demanda.....	24
<b>Gráfico 2.</b> Proceso de Abastecimiento.....	32
<b>Gráfico 3.</b> Órdenes de compra por proveedor 2008-2011.....	35
<b>Gráfico 4.</b> Proceso de recepción, almacenamiento y entrega de materiales.....	39
Gráfico 5. Intersección entre $M1$ y $M2$ .....	57
<b>Gráfico 6.</b> Clasificación de materiales Reparaciones en la matriz de Kraljic. ....	76
<b>Gráfico 7.</b> Clasificación de materiales Construcciones en la matriz de Kraljic.....	77
<b>Gráfico 8.</b> Materiales de Stock Reparaciones.....	86
<b>Gráfico 7.</b> Materiales de Stock Construcciones .....	87
<b>Gráfico 10.</b> Demanda 2008-2011 .....	92

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los materiales de acuerdo con el portafolio de Kraljic .....	18
<b>Tabla 2.</b> Sistemas de pronósticos para los diferentes comportamientos de la demanda .....	21
<b>Tabla 3.</b> Sistemas de control de inventario.....	22
<b>Tabla 4.</b> Métodos para establecer inventarios de seguridad .....	25
<b>Tabla 5.</b> Estados financieros principales astilleros de Colombia a diciembre de 2008 .....	28
<b>Tabla 6.</b> Estados financieros principales astilleros de Colombia a diciembre de 2009 .....	29
<b>Tabla 7.</b> Órdenes de compra y Proveedores 2008-2011 .....	34
<b>Tabla 8.</b> Equipos de operación logística.....	37
<b>Tabla 9.</b> Tiempos de entrega para los ítems comprados en el periodo 2008-2010/08.....	40
<b>Tabla 10.</b> Clasificación ABC por costo de los materiales ingresados al Almacén en el 2009	43
<b>Tabla 11.</b> Rotación de los materiales en inventario .....	46
<b>Tabla 12.</b> Movimiento de materiales que no se encontraban en inventario a 29 de diciembre de 2009.....	46
<b>Tabla 13.</b> Gastos asociados al costo de mantener en inventario.....	49
<b>Tabla 14.</b> Inversiones en el Almacén .....	50
<b>Tabla 15.</b> Costos de Almacenamiento.....	51
<b>Tabla 16.</b> Gastos asociados al costo de mantener en inventario.....	53
<b>Tabla 17.</b> Costos de ordenar .....	54
<b>Tabla 18.</b> Clasificación de los materiales de acuerdo con el portafolio de Kraljic. ....	59
<b>Tabla 19.</b> Definiciones de las variables para la línea de negocio de Reparaciones.....	60
<b>Tabla 20.</b> Definiciones de variables para la línea de negocio de Construcciones.....	61
<b>Tabla 21.</b> Escala lingüística difusa .....	62
<b>Tabla 22.</b> Definición de escalas para la variable Especificaciones técnicas. ....	63
<b>Tabla 23.</b> Definición de escalas para la variable Criticidad del bien para la operación. ....	63
<b>Tabla 24.</b> Matriz de comparación pareada de variables en Reparaciones.....	64
<b>Tabla 25.</b> Comparación entre número difusos.....	65
<b>Tabla 26.</b> Vector de pesos de las variables.....	66
<b>Tabla 27.</b> Vector prioridad Reparaciones .....	66
<b>Tabla 28.</b> Escala para la evaluación de las variables .....	67
<b>Tabla 29.</b> Definición de escalas para la variable Criticidad del Bien para la Operación. ....	68
<b>Tabla 30.</b> Definición de escalas para la variable Especificaciones Técnicas. ....	69



---

<b>Tabla 31.</b> Definición de escalas para la variable Tiempo.....	69
<b>Tabla 32.</b> Definición de escalas para la variable Costo. ....	70
<b>Tabla 33.</b> Matriz de comparación pareada de variables en Construcciones .....	71
<b>Tabla 34.</b> Vector prioridad Construcciones.....	71
<b>Tabla 35.</b> Escala para la evaluación de las variables .....	72
<b>Tabla 36.</b> Pre-clasificación de los materiales Reparaciones. Ejemplo: abrasivos. ....	73
<b>Tabla 37.</b> Pre-clasificación de los materiales Construcciones. Ejemplo: Materiales y consumibles utilizados en la fabricación del Grupo 100: Casco y Estructura.....	74
<b>Tabla 38.</b> Estrategias del portafolio de compras de Kraljic .....	78
<b>Tabla 39.</b> Participación de los proveedores en los materiales comprados 2008-2011.....	82
<b>Tabla 40.</b> Principales proveedores de ABRASIVOS.....	83
<b>Tabla 41.</b> Principales proveedores de TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS.....	84
<b>Tabla 42.</b> Pre-selección de materiales de Stock.....	88
<b>Tabla 43.</b> Materiales de Stock definitivos .....	89
<b>Tabla 44.</b> Participación de los materiales de Stock en las salidas y los costos .....	89
<b>Tabla 45.</b> Materiales de Stock por Familia .....	90
<b>Tabla 46.</b> Errores de los modelos de pronóstico para el DISCO CARBOFLAP 4.1/2" X 7/8" GRANO 60.....	93

# Introducción

La gestión de materiales en la industria de astilleros ha generado interés considerable en los últimos años (Dwivedi & Crisp, 2003), con énfasis en el manejo, almacenamiento y flujo efectivo de los materiales como determinante del éxito de la operación de un almacén dentro de un astillero. Existe una necesidad apremiante de planeación y control adecuado de los procesos y materiales, incluyendo el abastecimiento, almacenamiento, e inventario, para lograr que el proceso productivo se haga costo efectivo (Dwivedi & Crisp, 2003). Es por esto, que una adecuada gestión de materiales dentro de la cadena de abastecimiento de los astilleros ayudará a su posicionamiento y le permitirá ofrecer a los clientes el nivel de calidad y de servicio necesario para hacer competitiva la empresa (Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010).

La dificultad de administrar la cadena de abastecimiento de una industria con un alto grado de especificación y las oportunidades de mejora encontradas en los astilleros colombianos son los motivadores de la investigación. La gestión integral de la cadena se encuentra inmersa en un ambiente de incertidumbre dadas las características y el tipo de servicio que ofrece la empresa (construcción y reparación de buques), demandando una adecuada utilización de técnicas, reglas y/o modelos que permitan establecer un modo de acción, la definición de políticas y estrategias dentro de un plan de gestión en asocio y/o coordinación con los intervinientes de la cadena logística.

Los niveles actuales de competitividad del sector se encuentran amenazados porque no existe un dimensionamiento ni parametrización de la cadena logística y existe un bajo grado de coordinación entre los procesos que la conforman. Todo esto se refleja en la ausencia de políticas para el abastecimiento, manejo y control de inventarios, lo que ocasiona altos costos logísticos para lograr el aprovisionamiento de los materiales necesarios para la operación y finalmente una disminución del nivel de servicio y retrasos en los proyectos por la no disponibilidad de los materiales en el tiempo, cantidad y/o calidad requeridos.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo general del presente trabajo es diseñar un sistema de gestión de abastecimiento e inventarios para un astillero en Colombia que permita

establecer estrategias para el aprovisionamiento y almacenamiento de los materiales necesarios para la construcción y reparación de buques.

Los objetivos específicos a través de los cuales se consigue el logro del objetivo general son:

- Realizar la caracterización de los sistemas de compras, abastecimiento, inventarios y almacenamiento.
- Estimar los parámetros de costos relevantes asociados a la toma de decisiones de inventarios (costo de pedir y costo de almacenar).
- Clasificar los materiales que se compran y mantienen en inventario.
- Diseñar los sistemas de control y gestión de inventarios de los materiales de acuerdo con la clasificación realizada.
- Determinar las políticas y estrategias de abastecimiento de los materiales, especialmente de aquellos que requieran la implementación de acuerdos de coordinación con proveedores.

El trabajo se desarrolla en seis capítulos enfocados al logro de los objetivos propuestos. En el primer capítulo se realiza una revisión de la literatura en la gestión del abastecimiento, inventarios, clasificación de materiales y de los antecedentes que condujeron a esta investigación.

En el segundo capítulo se realiza una caracterización de los procesos logísticos de abastecimiento y almacenamiento en un astillero colombiano a través de revisión in situ de los procesos y entrevistas a personal de la empresa.

En el tercer capítulo se realiza la estimación de los parámetros de costo asociados a la operación logística de un astillero dedicado a la construcción y reparación de buques. Los costos que se estiman son los costos de ordenar o de realizar órdenes de compra y los costos de almacenar o de mantener materiales en inventario.

En el cuarto capítulo se desarrolla una metodología para la gestión del abastecimiento a través de la clasificación de los materiales que se adquieren para la reparación y fabricación de buques y el posterior establecimiento de políticas y estrategias de aprovisionamiento de los mismos de acuerdo con su clasificación. La metodología combina la clasificación de materiales clásica basada en el principio de Pareto con una metodología de clasificación

multivariable utilizando lógica difusa y finalmente establece las estrategias enmarcando esta clasificación en la matriz de portafolio desarrollada por Kraljic (Kraljic, 1983).

En el quinto capítulo se desarrolla el sistema de control y gestión de inventarios que se encuentra enlazado con las estrategias de abastecimiento establecidas para los materiales. Este sistema permite contar con una metodología clara para escoger el método de revisión, establecer inventarios de seguridad y cantidades de pedido. Por último, en el sexto capítulo se desarrollan las conclusiones y recomendaciones.

# 1. Antecedentes

La cadena de suministro comprende el conjunto de sistemas de productos, procesos, información y estructuras organizacionales de las empresas involucradas, los cuales deben gestionarse de forma integrada bajo criterios de eficiencia y efectividad. Esta gestión (Supply Chain Management SCM) incluye el conjunto de enfoques utilizados para integrar eficientemente a proveedores, fabricantes, almacenes y distribuidores, de modo que el producto sea fabricado y distribuido en las cantidades correctas, a los lugares de destino exactos y en el tiempo correcto, con el fin de minimizar los costos de todo el sistema mientras se satisfacen los requerimientos del cliente (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2008), (Hugos, 2003).

La gestión de inventarios como actividad transversal a la cadena de abastecimiento, constituye uno de los aspectos logísticos más complejos en cualquier sector de la economía. Debido a las grandes inversiones involucradas en los inventarios, se percibe este aspecto como un área potencial para contribuir en el mejoramiento de toda la cadena de suministro (Axsäter, 2000). Sin embargo, fenómenos como la globalización, la apertura de mercados, la diversificación y personalización de productos y el incremento en los estándares de calidad han contribuido en gran medida a incrementar la complejidad en los procesos de administración de inventarios, lo cual se constituye en muchos casos, un tema difícil de afrontar por parte de los administradores y gerentes encargados del tema.

Un problema típico de inventarios es la existencia de excedentes y faltantes, más conocido como desbalanceo de inventarios en el que: "Siempre tenemos demasiado de lo que no se vende o se consume y muchos agotados de lo que sí se vende o se consume" (Vidal C. , 2006). Los inventarios se hacen necesarios por las fluctuaciones aleatorias de la demanda y de los tiempos de reposición (Lead Times) y por el desfase que se genera entre la demanda de los consumidores finales y la producción o suministro de los productos solicitados (Vidal C. J., 2009).

Las decisiones más importantes en el tema de gestión de inventarios se refieren a: determinar la cantidad del pedido, el tiempo de aprovisionamiento, el punto de reorden y reabastecimiento del inventario (Silver, 1981).

Los factores considerados al decidir una política de inventario son la demanda del cliente (determinística o probabilística), el número de miembros de la cadena de suministro, el tiempo de reaprovisionamiento, el número de productos diferentes que deben ser almacenados, la amplitud del horizonte de tiempo y los requerimientos de nivel de servicio y costos que constan del costo de producción, de transporte, tasas y seguros, mantenimiento, costo de oportunidad, de obsolescencia, etc. (Arshinder, Kanda, & Deshmukh, 2008). Una política de inventarios debe dar respuesta a las preguntas de cada cuánto debe revisarse el inventario, cuándo ordenar y cuánto ordenar, bien sea ítems de demanda independiente o dependiente (Vidal & Gutierrez, 2008). El cambio de cualquiera de estos factores afecta las decisiones de la política de inventarios (Arshinder, Kanda, & Deshmukh, 2008). Estos factores son altamente dinámicos debido a las condiciones de mercado cambiantes, la incertidumbre del suministro, por diferencias y conflictos entre las políticas de inventario entre los miembros de la cadena de suministro y la no disponibilidad de información de otros miembros.

El intercambio típico es entre unos altos costos de mantener en inventario y de obsolescencia del inventario excesivo por un lado y el pobre servicio y altos costos de ruptura de inventario resultado de bajos niveles de inventario por otro lado. La solución deseable es una política de control de inventarios apropiada que garantice un nivel de servicio satisfactorio sin mantener grandes inventarios innecesarios que son costosos y difíciles de manejar (Nenes, Panagiotidou, & Tagaras, 2010).

La teoría de inventarios es probablemente el área de producción y de gestión de las operaciones más ampliamente manejada. Sin embargo, aunque casi todas las empresas tratan de aplicar cada vez más métodos científicos para gestionar mejor sus inventarios, el uso de estos métodos está a menudo limitado a algunas herramientas básicas como el cálculo computacional de Cantidades Económicas de Pedido (EOQ) y una aproximación de puntos de reorden o inventarios de base para lograr los niveles de servicio propuestos (Nenes, Panagiotidou, & Tagaras, 2010).

Para solucionar estos problemas se deben utilizar pronósticos de demanda adecuados de acuerdo con las características de cada material, medir los tiempos de reposición y su comportamiento, implementar una metodología de clasificación de inventarios para establecer prioridades de administración y diferenciar los sistemas de control de los ítems de cada categoría, etc (Vidal C. J., 2009).

La gestión de inventarios permite que una empresa cuente con los materiales para desarrollar sus actividades en el tiempo adecuado y a un costo mínimo. Mantener cantidades en inventario que garanticen un nivel de servicio al cliente y que no impliquen mayores inversiones de capital y costos asociados al almacenamiento, es una tarea compleja (Cakir & Canbolat, 2008) (Chen, 2011) cuando las empresas deben preocuparse por manejar miles de artículos. No es lógico ejercer un control estricto sobre la gestión de los diferentes artículos que varían en valor, complejidad, tamaño, peso, volumen o necesidad (Rezaei J. , 2007). Un sistema de control de inventario eficiente no tratará por igual a todos los materiales, sino que aplicará métodos de control y análisis en correspondencia con la importancia relativa de cada uno (Parada, 2009).

El análisis ABC, basado en el principio de Pareto, es ampliamente utilizado para la clasificación de inventarios en las empresas pero está basado en un criterio único que generalmente es el valor de uso anual (producto de la demanda anual por el precio unitario promedio) y es mejor considerar múltiples criterios en la práctica ( (Dickie, 1951), (Ramanathan R. , 2006), (Rezaei J. , 2007), (Chen, 2011)). Los ítems clase A son relativamente pocos en número pero constituyen un relativamente gran porcentaje del valor de uso anual, mientras que los ítems clase C son relativamente muchos en cantidad pero constituyen un relativamente pequeño porcentaje del valor de uso anual (Ramanathan R. , 2006).

El análisis ABC es exitoso solo cuando el inventario que va a ser clasificado es bastante homogéneo y la principal diferencia entre los ítems es su valor de uso anual. En la práctica, las organizaciones aún de tamaños moderados tienen que controlar miles de ítems en inventario los cuales no son muy homogéneos pues el incremento de las demandas de los clientes por mayores variedades de productos ocasionan la necesidad de incrementar la variedad de ítems en inventario (Ramanathan R. , 2006). Es por esto, que se ha reconocido que el análisis ABC tradicional puede no proveer una buena clasificación de los ítems en inventario en la práctica ((Güvenir & Erel, 1998), (Partovi & Anandarajan, 2002).

Existen otras variables importantes para la gestión, como: tiempo de aprovisionamiento, obsolescencia, disponibilidad, sustitución, criticidad, capacidad de reparación, certeza de suministro, impacto del desabastecimiento, costo, número de solicitudes, escasez, durabilidad, tamaño de orden, habilidad para almacenarse y distribución de la demanda ((Flores & Whybark, 1986) (Flores & Whybark, 1987) (Vollmann, 1997) (Ramanathan, 2006)

(Rezaei J. , 2007) (Ramanathan, 2006), (Ng, 2007), (Güvenir & Erel, 1998), (Partovi & Anandarajan, 2002)).

La clasificación de inventario multivariable (MCIC) fue presentada por Flores y Whybark (1986, 1987) quienes desarrollaron una matriz de variables conjuntas para dos variables. (Cohen & Ernst, 1988) desarrollaron una técnica llamada análisis de clúster para agrupar artículos en muchas dimensiones; (Flores, Olson, & Dorai, 1992), (Partovi & Burton, 1993), (Partovi & Hopton, 1994) utilizan el proceso de análisis jerárquico (AHP) de Saaty ( Saaty, 1982) para valorar variables cualitativas y cuantitativas y clasificar materiales; (Güvenir & Erel, 1998) propusieron un método que utiliza algoritmos genéticos y AHP para clasificar materiales; (Partovi & Anandarajan, 2002) presentaron un modelo de redes neuronales artificiales utilizando propagación hacia atrás y algoritmos genéticos; (Puente, De la Fuente, & Priore, 2002) fueron los primeros en considerar la lógica difusa aunque solo incluyen dos variables en su modelo; (Ramanathan, 2006), (Ng, 2007) y (Zhou & Fan, 2007) proponen modelos de optimización lineal ponderada basados en análisis envolvente de datos (DEA); (Bhattacharya, 2007) utilizaron una técnica para ordenar por preferencia por similitud a la solución ideal (TOPSIS) ; (Rezaei J. , 2007) mediante el proceso de análisis jerárquico difuso (FAHP) obtiene los pesos de las variables y luego usa un algoritmo de seis pasos para calcular la puntuación final normalizada ponderada de cada elemento; (Chu, Liang, & Liao, 2008) proponen un enfoque que combina el ABC y la clasificación difusa; (Cakir & Canbolat, 2008) proponen un sistema de soporte de decisión basado en la web para clasificación de inventario con AHP difuso; (Vencheh, 2010) presenta una versión extendida del modelo Ng ( Ng, 2007) que utiliza programación no lineal; (Cebi, Kahraman, & Bolat, 2010) desarrollan un modelo de clasificación utilizando el AHP difuso propuesto por Zeng y Smith (Zeng & Smith, 2007).

De los diferentes modelos de clasificación de inventario desarrollados, solo (Puente, De la Fuente, & Priore, 2002), (Rezaei J. , 2007), (Cakir & Canbolat, 2008) y (Cebi, Kahraman, & Bolat, 2010) consideran la clasificación multivariable en un sentido difuso. Como no siempre es posible obtener datos precisos y los gerentes prefieren valores lingüísticos a numéricos en la medición de variables (Rezaei & Dowlatshahi, 2010); la representación de los conocimientos gerenciales con reglas lingüísticas y lógica difusa funciona mejor cuando no hay unidades de medición de los atributos del sistema y no existen criterios cuantitativos para los valores de tales atributos (Zadeh, 1983).



Para el caso de las compras, el análisis ABC no discrimina entre los métodos que deben utilizarse para adquirir las diferentes categorías de artículos (Steele & Court, 1996) ni provee recomendaciones estratégicas para las categorías (Gelderman, 2003). Es por esto que el ABC se constituye en una herramienta de clasificación que debe ir acompañada de un modelo de gestión del abastecimiento, tal como el enfoque de Kraljic (Gelderman, 2003).

Los mayores desarrollos en la gestión del abastecimiento apuntan a la importancia del manejo de las relaciones con los proveedores. De acuerdo con este mayor enfoque en la gestión de las relaciones, hay una aceptabilidad y uso cada vez mayor de enfoques de Compras basados en Portafolios, tal como el enfoque de Kraljic (Gelderman, 2003). Un portafolio se refiere a una colección de artículos diferentes pero conectados. El concepto de portafolio se enfoca en las interdependencias entre las decisiones administrativas y enfatiza un enfoque integrado (Turnbull, 1990).

Kraljic (1983) introdujo un enfoque de portafolio completo para el uso en las compras y la gestión del aprovisionamiento y busca garantizar la disponibilidad de materiales críticos a largo plazo y a costos competitivos dentro de un ambiente de incertidumbre. Clasifica los materiales en cuatro categorías: estratégicos, cuellos de botella, palanca y rutinarios. El enfoque de Kraljic incluye la construcción de dos matrices de portafolio. La primera matriz involucra la clasificación de los productos bajo dos dimensiones: el impacto en las utilidades (volumen de compra, porcentaje de los costos de compra, impacto del material en la calidad del producto o en el crecimiento de la compañía) y el riesgo del aprovisionamiento (disponibilidad, número de proveedores, demanda competitiva, oportunidades de fabricar o comprar, riesgo de almacenamiento, posibilidad de sustitución). Cada variable tiene dos posibles valores: bajo y alto. La metodología de Kraljic (1983) está enfocada a garantizar la disponibilidad de materiales críticos a largo plazo y a costos competitivos dentro de un ambiente de incertidumbre. El resultado es una matriz 2X2 y una clasificación en cuatro categorías que se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación de los materiales de acuerdo con el portafolio de Kraljic

<b>CATEGORÍAS</b>	<b>VALORES</b>	<b>ESTRATEGIAS PRINCIPALES</b>
Artículos Estratégicos	Alto en ambas dimensiones	Diversificar, balancear o explotar
Artículos Cuellos de Botella	Bajo impacto en las utilidades y alto riesgo de aprovisionamiento	Asegurar volumen
Artículos Palanca	Alto impacto en las utilidades, bajo riesgo en el aprovisionamiento	Explotación del poder de compra
Artículos Rutinarios	Bajo en ambas dimensiones	Procesamiento eficiente

Fuente: Construcción propia a partir de (Kraljic, 1983) y (Gelderman, 2003)

Se utiliza una segunda matriz para los artículos estratégicos. Esta matriz muestra la posición de poder relativo de la compañía en el mercado de abastecimiento correspondiente. Se determinan tres estrategias de compras generales, dependiendo del balance de poder en la relación entre el comprador y vendedor: explotar (en caso de dominancia), balancear (en caso de una relación balanceada) y diversificar (en caso de dominancia del proveedor).

El enfoque de Kraljic cuenta con cuatro etapas en el que las compañías deben:

1. Clasificar todos los materiales o componentes que se compran en términos del impacto en las utilidades y del riesgo del aprovisionamiento.
2. Analizar el mercado de abastecimiento de estos materiales
3. Determinar la estrategia general para la posición de abastecimiento
4. Desarrollar estrategias de materiales y planes de acción.

Otros autores han utilizado las ideas básicas de Kraljic para el desarrollo de modelos de portafolio similares ( (Elliot-Shircore & Steele, 1985), (Syson, 1992), (Olsen & Ellram, 1997), (Lilliecreutz & Ydreskog, 1999), (Gelderman C. , 2002)). En general, los modelos de portafolio de compras buscan desarrollar e implementar diferentes estrategias de compras.

Para establecer sistemas de control de inventarios para los materiales de acuerdo con la clasificación, es primordial conocer los parámetros de costos asociados a la operación

logística pues de esto dependerán en gran medida los tamaños y la frecuencia de las órdenes. Básicamente, existen cuatro categorías de costos relevantes para la toma de decisiones de inventario ( (Silver, 1981), (Silver, Pyke, & Peterson, 1998)):

1. Costos de ordenar o costo de realizar un pedido: estos costos corresponden al procesamiento, transmisión, manejo y compra de la orden, es decir, costos en que se incurren cada vez que se realiza un pedido. Este costo se puede expresar como la suma de dos componentes: un componente fijo que es llamado el costo de alistamiento que es independiente del tamaño de reaprovisionamiento y un componente que depende del tamaño del reaprovisionamiento y que por lo general hace referencia al costo del material. Incluye el costo de los formularios de órdenes, llamadas de teléfono, autorizaciones, digitación de órdenes, recibo, inspección, seguimiento y el manejo de las facturas de los clientes. Algunos costos de ordenamiento pueden depender del tamaño de la orden y, por lo tanto, su tratamiento matemático varía (Fogarty, Blackstone, & Hoffmann, 1994).

2. Costos de mantener inventario: mantener materiales en inventario implica el costo de oportunidad del dinero invertido, los gastos incurridos en el manejo de las bodegas, los costos de manejo y conteo, los costos de requerimientos especiales de almacenamiento, deterioración del stock, daños, robos, obsolescencia, seguros e impuestos. La mayoría de los modelos en la literatura asumen que estos costos son proporcionales al nivel de inventario promedio. El costo de mantenimiento del inventario debería incluir sólo aquellos costos que son proporcionales al volumen de inventario que se mantiene (Stock & Lambert, 2001). El costo de llevar o mantener el inventario comprende por lo tanto los costos de servicio del inventario (almacenamiento y manejo), el costo del espacio utilizado, los costos de capital y los costos de riesgo del inventario (los costos de obsolescencia, daños y filtraciones y los seguros e impuestos) (Vidal C. J., 2009).

3. Costos de faltante: cuando los niveles de inventario son insuficientes para satisfacer de forma rutinaria la demanda de los clientes se incurre en costos, aunque en muchos casos estos no se miden explícitamente. La demanda insatisfecha lleva a un costo de realizar la orden pendiente o a perder la venta. Además, el mal servicio puede generar impacto en los costos a largo plazo a través de la pérdida de la imagen corporativa (Silver, Pyke, & Peterson, 1998).

4. Costos de control del sistema: esta categoría de costo crucial ha sido ignorada en la literatura. Incluye el costo de adquirir la información necesaria para las reglas de decisión adoptadas, los costos computacionales y otros costos de implementación (Silver, Pyke, & Peterson, 1998).

Un aspecto fundamental de la gestión de inventarios es la realización de pronósticos de la demanda de materiales y componentes. En cualquier caso, el sistema de pronósticos es un elemento clave para el cumplimiento de los objetivos de la organización y para el mejoramiento de su competitividad, ya que de no tomar las decisiones correctas, se puede caer en extremos como el deficiente servicio al cliente, el exceso de inventarios o, peor aún, ambos factores en forma simultánea cuando se presenta el desbalanceo de los inventarios (Vidal, 2009). La clave del éxito de un sistema de gestión de inventarios es conocer a fondo los errores del pronóstico y responder a ellos en forma adecuada mediante la utilización de inventarios de seguridad. Los errores de pronóstico permiten estimar la variabilidad de la demanda y determinar inventario de seguridad adecuado, establecer la conveniencia del modelo (Vidal, 2009).

Existen diversos métodos de pronósticos como los cualitativos (Fildes, Lawrence, & Nikolopoulos, 2009), (Lawrence, Goodwin, O'Connor, & Önköl, 2006), las series de tiempo, los causales, los pronósticos por analogía (Lee, Goodwin, Fildes, Nikolopoulos, & Lawrence, 2007), la simulación y una combinación de los anteriores. Dependiendo del comportamiento o patrón de demanda del material estudiado existen sistemas de pronósticos que se adaptan mejor al comportamiento. En la tabla 2 se ilustran los métodos de pronósticos de series de tiempo más utilizados y estudiados en la literatura para cada tipo de demanda.

**Tabla 2.** Sistemas de pronósticos para los diferentes comportamientos de la demanda

<b>PATRÓN DE DEMANDA</b>	<b>SISTEMA DE PRONÓSTICO RECOMENDADO</b>
Perpetua, estable o uniforme	Promedio móvil o suavización exponencial simple
Tendencia creciente/decreciente	Regresión lineal simple o suavización exponencial doble
Estacional o periódica	Modelos periódicos de Winters (Montgomery, Johnson, & Gardiner, 1990)
Demandas altamente correlacionadas	Métodos integrados de promedios móviles auto-regresivos (ARIMA)
Errática (Por ejemplo, en ítems clase A de bajo movimiento)	Pronóstico combinado de tiempo entre la ocurrencia de demandas consecutivas y la magnitud de las transacciones individuales (Método de Croston y relacionados). (Croston, 1972).

Fuente: Elaboración propia basado en Vidal (2009) y Silver et al. (1998).

Un sistema de pronóstico se justifica si es útil para el proceso de toma de decisiones, como por ejemplo, niveles de inventario a mantener, establecimiento de cantidades a pedir, entre otros aspectos. Uno de los principales indicadores de eficiencia es la precisión, que se mide con base en los errores de pronóstico calculados como la diferencia entre el valor real observado y su pronóstico calculado generalmente en el periodo anterior.

$$\text{Error del pronóstico } e_t = x_t - \hat{x}_t \quad (1)$$

Donde:

$e_t$  = Error del pronóstico de demanda para el periodo t,

$x_t$  = Valor real u observación de la demanda en el periodo t,

$\hat{x}_t$  = Pronóstico de demanda para el periodo t, calculado en un periodo anterior.

Los problemas de control de inventarios se pueden clasificar de acuerdo con las características de la demanda y de los tiempos de reposición (Lead Times). Tanto la demanda como los tiempos de reposición pueden ser determinísticos o aleatorios. La demanda se puede clasificar en: demanda constante y conocida, demanda determinística (variable pero conocida) y demanda probabilística o aleatoria. La demanda probabilística o aleatoria representa la situación más compleja pero también la más aproximada a la realidad. Aquí, la variable aleatoria demanda se asume que sigue cierta distribución probabilística y con base en ésta se deducen las expresiones para su control (Vidal, 2009).

En la tabla 3 se enumeran los diferentes sistemas de control de inventario dependiendo de las características de la demanda y de los tiempos de reposición.

**Tabla 3.** Sistemas de control de inventario

CARACTERÍSTICA DE LA DEMANDA	CARACTERÍSTICA DE LOS TIEMPOS DE REPOSICIÓN	SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIO
Demanda constante	Tiempos de reposición constantes o iguales a cero	Tamaño Económico de Pedido EOQ (Harris, How many parts to make at once, 1913), (Erlenkotter, 1990) y (Harris, 1990).
Demanda conocida y variable en el tiempo	Tiempos de reposición constantes o iguales a cero	EOQ con base en la demanda promedio cuando el patrón de demanda no es muy variable en el tiempo. Solución exacta de un modelo matemático como el algoritmo de (Wagner & Whitin, 1958) o modelos de programación lineal entera mixta.  Métodos aproximados o heurísticos como el heurístico de Silver-Meal (Silver & Meal, 1973) y métodos como el EOQ expresado en tiempo de aprovisionamiento (POQ), lote por lote (L4L), último costo unitario (LUC) y balanceo de parte del periodo (PPB).
Demanda probabilística	Tiempos de reposición constantes o iguales a cero	Sistema de revisión continua con punto de reorden y cantidad de orden ( $s^1, Q^2$ ), sistema de revisión continua con punto de reorden y nivel máximo ( $s, S^3$ ), sistema de revisión periódica con nivel máximo ( $R^4, S$ ), sistema mixto ( $R, s, S$ )

Fuente: Elaboración propia basado en (Vidal, 2009) y (Silver, Pyke, & Peterson, 1998).

<sup>1</sup> Punto de reorden o de pedido, es decir, el nivel de inventario efectivo para el cual debe emitirse una nueva orden.

<sup>2</sup> Cantidad a ordenar en cada pedido

<sup>3</sup> Nivel máximo de inventario efectivo hasta el cual debe ordenarse

<sup>4</sup> Nivel máximo de inventario efectivo hasta el cual debe ordenarse

Los sistemas probabilísticos de control de inventarios que más se utilizan se describen a continuación (Vidal, 2009).

- Sistema continuo (s, Q): en este sistema, cada vez que el inventario efectivo es igual o menor al punto de reorden  $s$ , se ordena una cantidad fija  $Q$ .
- Sistema continuo (s, S): en este sistema de control continuo, cada vez que el inventario efectivo cae al punto de reorden  $s$  o por debajo de él, se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario efectivo hasta el nivel de inventario máximo  $S$ . La cantidad a ordenar depende del inventario efectivo y del nivel máximo, y, por lo tanto, puede variar entre un período y otro.
- Sistema periódico (R, S): este sistema se conoce también como el sistema del ciclo de reposición donde cada  $R$  unidades de tiempo se revisa el inventario efectivo, y se ordena una cantidad tal que este inventario suba al valor máximo  $S$ . La principal ventaja de este método es la de permitir el control coordinado de diversos ítems relacionados entre sí, bien sea por ser proporcionados por el mismo proveedor, por compartir un mismo sistema de transporte, o por cualquier otra razón que permita obtener economías de escala en la adquisición o producción del pedido. Igualmente, el nivel máximo de inventario  $S$  puede ser ajustado fácilmente si el patrón de demanda tiende a cambiar con el tiempo. Su principal desventaja es que para un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema presenta costos de mantenimiento del inventario mayores que aquéllos de los sistemas continuos, ya que el nivel de inventario de seguridad requerido es mayor. Esto se da porque entre un período de revisión y otro, no se tiene información acerca del inventario efectivo, pudiendo caer éste a niveles indeseables si no se tiene el inventario de seguridad adecuado y, por lo tanto, éste debe cubrir fluctuaciones de demanda para un tiempo igual al período de revisión  $R$  más el tiempo de reposición  $L$  ( $R + L$ ).
- Sistema (R, s, S): Este es una combinación de los sistemas (s, S) y (R, S). Consiste en que cada  $R$  unidades de tiempo, se revisa el inventario efectivo. Si éste es menor o igual que el punto de reorden  $s$ , entonces se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo  $S$ . Si el nivel de inventario efectivo es mayor que  $s$ , no se ordena cantidad alguna hasta la próxima revisión que tendrá lugar en  $R$  unidades de tiempo. Nótese que el sistema (s, S) es un caso particular de este sistema,

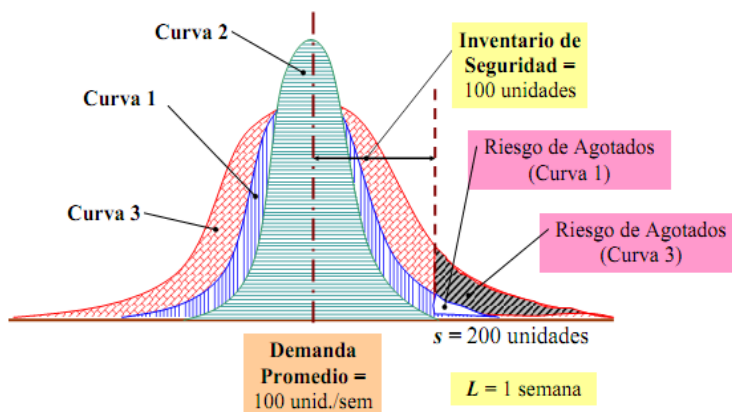
cuando  $R = 0$ . Análogamente, el sistema  $(R, S)$  es un caso especial de este sistema cuando  $s = S - 1$ .

Como no se puede pronosticar el valor exacto de la demanda, se puede, con base en los errores de los pronósticos, acotar con cierto grado de precisión, un límite superior de la demanda con cierto nivel de confiabilidad y así definir el inventario de seguridad (Vidal, 2009).

El inventario de seguridad depende de las fluctuaciones de la demanda durante el tiempo de reposición, o equivalentemente, de la desviación estándar de los errores del pronóstico de la demanda total sobre el tiempo de reposición. Intuitivamente, esto se explica porque si los pronósticos fueran absolutamente seguros, entonces no habría razón para tener inventarios de seguridad, así se tuviera demanda determinística variable con el tiempo (Vidal, 2009).

Para los modelos de revisión continua y periódica se deben establecer inventarios de seguridad que permitan a la empresa protegerse de las fluctuaciones propias de la demanda. Existen varios métodos para establecer inventarios de seguridad: factores constantes, costos de faltantes y minimización de costos (Vidal, 2009). En el gráfico 1 se evidencia la importancia de establecer inventarios de seguridad basados en la variabilidad de la demanda y no solo en su valor promedio pues para materiales con alta variabilidad se puede estar incurriendo en faltantes con mucha frecuencia y para materiales con baja variabilidad se pueden estar determinando inventarios excesivos.

**Gráfico 1.** Inventario de seguridad para diferentes comportamientos de demanda



Fuente: (Vidal, 2009)



En la tabla 4 se resumen los métodos para establecer inventarios de seguridad.

Tabla 4. Métodos para establecer inventarios de seguridad

Basado en factores constantes	Igual tiempo de aprovisionamiento
	Factores de seguridad iguales
Basado en la minimización de costos	Costo fijo específico por ocasión de ruptura de inventario
	Costo fraccional por unidad de ruptura de inventario
	Costo fraccional por unidad de ruptura de inventario por unidad de tiempo
	Costo especificado por agotamiento de línea de artículos por cliente
Basado en el servicio al cliente	Probabilidad de no agotamientos durante un ciclo de reaprovisionamiento
	Fracción específica de la demanda a ser satisfecha de la estantería (Fill rate)
	Fracción específica de tiempo durante el cual el inventario neto es positivo
	Tiempo promedio especificado entre ocasiones de ruptura de inventario

Fuente: (Vidal, 2009)

La toma de decisiones respecto a políticas de inventario y abastecimiento para una empresa se ve influenciada por el ambiente en que desarrolle sus actividades y las características de su sistema productivo y su cadena de abastecimiento. De acuerdo con el tipo y enfoque de las operaciones realizadas, se pueden definir seis tipos diferentes de estructuras de cadenas de abastecimiento ( (Hoekstra & Romme, 1992), (Naylor, Mohamed, & Berry, 1999), (Gosling & Naim, 2009)): engineer to order (ETO), buy to order (BTO), make to order (MTO), assemble to order (ATO), make to stock (MTS) y ship to stock (STS). De acuerdo con esta clasificación, la industria de astilleros de construcción y/o reparación posee una cadena de suministros de tipo ETO y MTO, debido a que realiza operaciones de diseño, fabricación y/o reparación de buques, marítimos y fluviales que poseen un alto componente de diseño e ingeniería, asociados al manejo de una gran cantidad de materiales y suministros específicos para cada proyecto que se realiza. Este tipo de cadenas de suministro se caracterizan por desarrollar productos únicos y de diseño complejo de acuerdo

con las especificaciones y requerimientos de cada cliente en particular, contando con altos tiempos de ejecución en los proyectos.

La cadena de abastecimiento de la industria de astilleros es muy compleja, especialmente debido a la cantidad de tiempo que toma completar un producto terminado. Esta complejidad hace que la gestión de la misma genere impactos negativos o positivos en el resto de las funciones del negocio y en la utilidad total de la empresa (Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010).

(Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010) estudian la cadena de abastecimiento de los astilleros y en particular la gestión de los materiales y su impacto en la línea base de la compañía y concluyen que las mejoras realizadas en la gestión de materiales ayudará a posicionar a los astilleros y le permitirá ofrecer a los clientes el nivel de calidad y de servicio necesario para hacer competitiva la empresa.

La construcción de un barco utiliza procesos altamente complejos para diseñar y construir productos tipo build-to-order que cumplan con los requerimientos del cliente (Clark, Howell, & Wilson, 2007). Este proceso incluye la cooperación de todas las partes, incluyendo a los clientes, al astillero y a los proveedores. El proceso luego necesita una interacción fluida de los proveedores, la gestión de materiales, planeación y programación, y producción; que si no se presenta puede ocasionar la realización de reprocesos y reprogramación de trabajos pero que si se realiza adecuadamente permite entregar el producto en la ventana de tiempo establecida por el contrato y obtener ganancias (Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010).

La gestión de materiales en la industria de astilleros ha generado interés considerable en los últimos años (Dwivedi & Crisp, 2003), con énfasis en el manejo, almacenamiento y flujo efectivo de los materiales como determinante del éxito de la operación de un almacén dentro de un astillero. En los astilleros existe una necesidad de planeación y control adecuado de los procesos y materiales, incluyendo el abastecimiento, almacenamiento, e inventario, para lograr que el proceso productivo se haga costo efectivo (Dwivedi & Crisp, 2003).

Los astilleros realizan la compras de materiales basados en cantidades económicas de pedido (EOQ) (Clark, Howell, & Wilson, 2007). En años recientes, estos han visto un aumento en los costos producto de la planeación ineficiente y los problemas de calidad y de programación, problema en el que los materiales juegan un papel importante, en especial lo

relacionado con los tiempos de entrega de los mismos, la obsolescencia y la baja calidad (Sarder, Ali, Ferreira, & Rahman, 2010). En la industria marítima, los materiales y equipos representan más del 50% de los costos totales de entrega de un barco (Fleisher, Kohler, Lamb, & Tupper, 1999).

En Colombia se han identificado las potencialidades del sector astilleros como industria clave para el desarrollo económico del país. El astillero líder en el país, Cotecmar, adelanta gestiones para proyectar el sector astillero a nivel nacional e internacional con distintas organizaciones como Proexport a través del proyecto Red Empresarial que busca aumentar las exportaciones del sector, la Andi a través de la formación del Comité de Astilleros, la Cámara de Comercio de Cartagena que consolidó el sector astillero como uno de los cuatro ejes de desarrollo estratégico de la ciudad y la DIAN con la cual se gestionan en forma permanente las políticas aduaneras, tributarias y cambiarias para facilitar la operación del gremio (Castro Pineda, 2010).

De acuerdo con Ship2yard, la base de datos mundial más grande de astilleros, Colombia cuenta con dos astilleros: Cotecmar y Astivik, ambos situados en la ciudad de Cartagena. Astivik, antes Astilleros Vikingos S.A. es una compañía de capital privado fundada en 1972 con la misión de cubrir la reparación y mantenimiento de las necesidades de todo tipo de buques ([www.astivik.com](http://www.astivik.com)). La empresa cuenta con dos diques flotantes con capacidad de 1.300 y 2.00 ton.

Cotecmar, por su parte, es una Corporación de Ciencia y Tecnología orientada al diseño, construcción, mantenimiento y reparación de buques y artefactos navales, cuenta con siete posiciones de varada y una capacidad de levante de 3600 toneladas (Ship2yard, 2010). Cotecmar fue concebida inicialmente para atender exclusivamente las necesidades de la Armada Nacional de Colombia, sin embargo, ha ampliado la prestación de sus servicios a otros astilleros y clientes nacionales e internacionales.

La Superintendencia de Sociedades posee con un sistema de Información y Riesgo empresarial – SIREM – que suministra información financiera y contable de las sociedades que están sometidas a la inspección, vigilancia y control de la Superintendencia. La industria de astilleros pertenece al sector de “Fabricación de otros medios de transporte y sus partes” y al subsector “Construcción y reparación de buques”. La búsqueda realizada arrojó 16 empresas en Colombia pertenecientes a este subsector. Dentro de estas se destacan cuatro

empresas: Industrias Astivik S.A., Navtech S.A., Astilleros Cartagena & Cia Ltda y Cotecmar que por su carácter especial no aparece en los registros de la Supersociedades.

En los estados financieros se evidencia el alto porcentaje que representan los costos de los productos vendidos en el sector, alcanzando en la mayoría de los casos porcentajes superiores al 70%, así como de los gastos operacionales, dejando utilidades operacionales de cerca del 10%.

**Tabla 5.** Estados financieros principales astilleros de Colombia a diciembre de 2008

RUBRO	ASTIVICK		ASTILLEROS CARTAGENA		COTECMAR		NAVTECH		SUBSECTOR (no incluye COTECMAR)	
INGRESOS OPERACIONALES	24.913.742	100%	451.808	100%	109.413.000	100%	13.314.002	100%	82.931.549	100%
(-) Costo de ventas	16.778.779	67%	442.348	98%	84.746.000	77%	12.170.349	91%	74.249.239	90%
UTILIDAD BRUTA	8.134.962	33%	9.460	2%	24.667.000	23%	1.143.653	9%	8.682.309	10%
(-) Gastos operacionales	6.024.880	24%	65.772	15%	17.995.000	16%	680.919	5%	11.444.888	14%
UTILIDAD OPERACIONAL	2.110.083	8%	-56.312	-12%	6.672.000	6%	462.734	3%	-	-3%
(+) Otros ingresos	789.918	3%	114.990	25%	12.264.000	11%	1.205.498	9%	6.809.043	8%
(-) Otros egresos	393.479	2%	4.997	1%	3.911.000	4%	1.728.538	13%	6.254.366	8%
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	2.506.522	10%	53.681	12%	15.024.000	14%	-	0%	-	-3%
(-) Imporenta	877.232	4%	19.862	4%	-	0%	65.393	0%	1.193.138	1%
UTILIDAD NETA	1.629.290	7%	33.819	7%	15.024.000	14%	-	-1%	-	-4%

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de SIREM (Supersociedades, 2010) y de los estados financieros de Cotecmar (COTECMAR, 2010)

**Tabla 6.** Estados financieros principales astilleros de Colombia a diciembre de 2009

RUBRO	ASTIVICK		ASTILLEROS CARTAGENA		COTECMAR		NAVTECH		SUBSECTOR (no incluye COTECMAR)	
INGRESOS OPERACIONALES	31.299.304	100%	284.944	100%	201.751.000	100%	3.668.597	100%	36.039.531	100%
(-) Costo de ventas	21.648.562	69%	302.734	106%	151.424.000	75%	3.879.898	106%	26.134.311	73%
UTILIDAD BRUTA	9.650.742	31%	- 17.790	-6%	50.326.000	25%	- 211.301	-6%	9.905.220	27%
(-) Gastos operacionales	6.416.873	21%	101.475	36%	24.199.000	12%	1.015.364	28%	7.868.085	22%
UTILIDAD OPERACIONAL	3.233.869	10%	- 119.265	-42%	26.127.000	13%	- 1.226.665	-33%	2.037.135	6%
(+) Otros ingresos	630.662	2%	152.917	54%	14.888.000	7%	1.183.042	32%	1.967.121	5%
(-) Otros egresos	187.768	1%	2.720	1%	13.047.000	6%	3.951.201	108%	4.206.513	12%
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	3.676.763	12%	30.932	11%	27.967.000	14%	- 3.994.824	- 109%	- 202.257	-1%
(-) Imporenta	1.254.554	4%	-	0%	-	0%	34.321	1%	1.320.031	4%
UTILIDAD NETA	2.422.209	8%	30.932	11%	27.967.000	14%	- 4.029.145	- 110%	- 1.522.288	-4%

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de SIREM (Supersociedades, 2010) y de los estados financieros de Cotecmar (COTECMAR, 2010)

## **2. Caracterización de los procesos de abastecimiento y almacenamiento**

Un primer paso para establecer un modelo de abastecimiento e inventarios apropiados para el sector de astilleros colombiano consiste en el reconocimiento y caracterización de los procesos de abastecimiento y almacenamiento que son empleados para asegurar el suministro y disponibilidad de los materiales necesarios para la construcción y reparación de buques.

La caracterización se realiza a través de la revisión in situ de los macro-procesos logísticos de un astillero colombiano asociados al abastecimiento y almacenamiento. Las áreas estratégicas que se evalúan son: los procesos, las tecnologías de la información, el recurso humano, la infraestructura y equipos.

### **2.1 Abastecimiento**

Las decisiones de compra de una organización se hacen cada vez más importantes pues entre más dependientes sean las organizaciones de sus proveedores las consecuencias directas e indirectas de una pobre toma de decisiones se hacen más severas (de Boer, Labro, & Morlacchi, 2001). En muchas empresas, la participación de las compras en el volumen total del negocio es muy alto y por tanto la toma de decisiones sobre estrategias de compra determina en gran medida la rentabilidad. Situación que se hace más compleja por factores como la globalización y el internet que hacen cada vez más amplio el abanico de posibilidades de selección de proveedores y por las cambiantes preferencias de los clientes que demandan una selección de proveedores más amplia y rápida (de Boer, Labro, & Morlacchi, 2001).

El astillero en el cual se realizó el estudio es una organización orientada al diseño, construcción, mantenimiento y reparación de buques y artefactos navales. Esto se ve reflejado en la existencia de dos grandes líneas de negocio en la empresa, una enfocada al diseño y construcción de buques, y otra a prestar servicios de reparación y mantenimiento de los mismos. Cada línea de negocio cuenta con áreas comerciales, productivas y de gerencia de proyecto diferenciadas. Sin embargo, las necesidades de materiales y servicios

para el desarrollo de la actividad productiva se canalizan a través de una única área de adquisiciones y almacén.

Debido a la alta complejidad de los trabajos realizados en el astillero y la existencia de una cadena de suministro tipo MTO (make to order) las necesidades de materiales y servicios se establecen por proyecto.

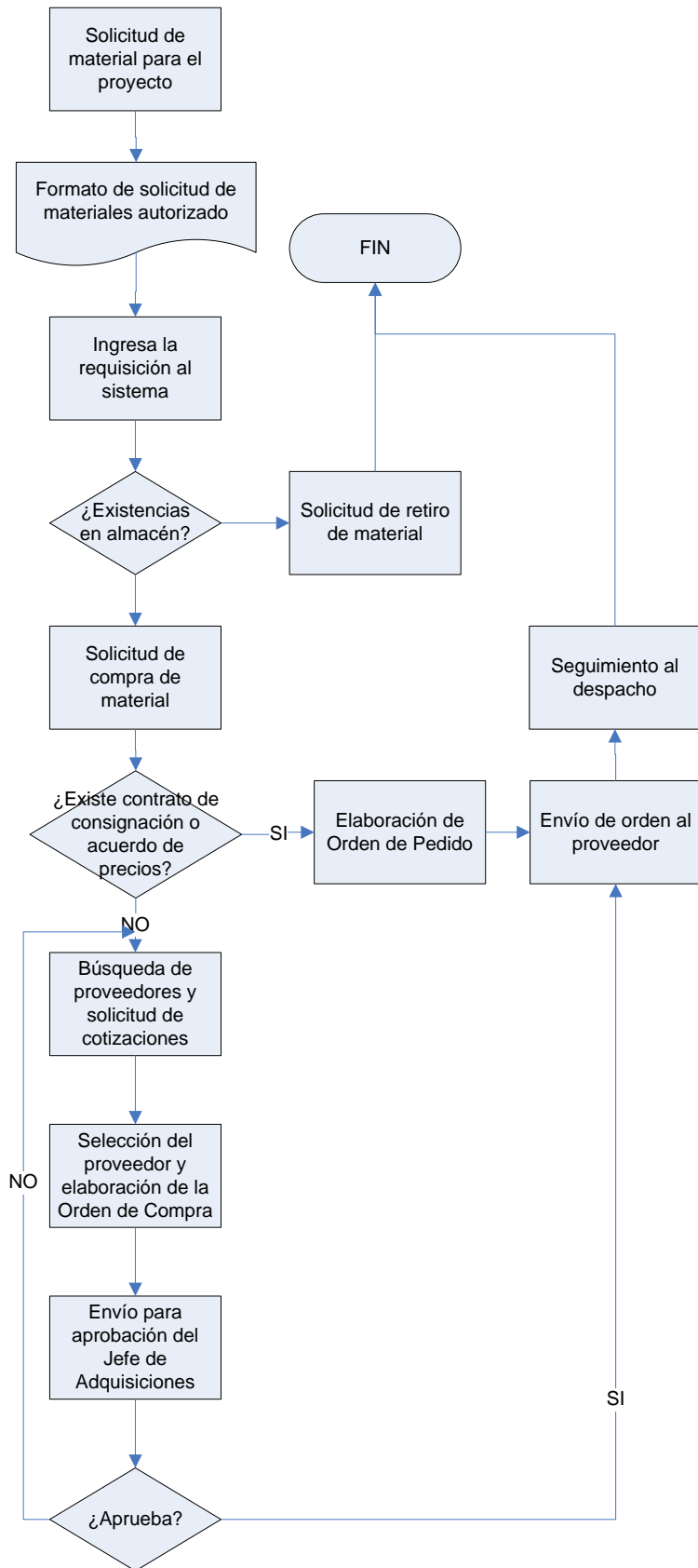
La organización cuenta con una directiva denominada Gestión de Abastecimientos que tiene como propósito establecer lineamientos para el abastecimiento de bienes y servicios de los distintos proyectos dentro de los parámetros de tiempo, costo, fiabilidad, flexibilidad y calidad, de acuerdo con la planificación del proceso productivo, asegurando que se cumpla con los requisitos especificados por el cliente interno. Esta actividad es llevada a cabo por la División de Adquisiciones, que a través de los analistas responde por línea de negocios las necesidades de bienes y servicios.

El área de adquisiciones se encuentra conformada por el Jefe de Adquisiciones y un equipo de ocho analistas de adquisiciones. Los analistas de adquisiciones se encuentran organizados por línea de negocio además de unos analistas que se encargan de la compra de bienes y servicios necesarios para el funcionamiento de la planta y para los proyectos de inversión en la misma.

Las necesidades de materiales y servicios surgen en las áreas productivas y de gerencia de proyectos que son los que realizan la programación y el cronograma de actividades del proyecto, así como de las necesidades en cuanto a materiales, servicios y personal para los mismos.

Para el caso de los bienes, que es el interés principal de este trabajo, las necesidades del cliente interno se traducen en requisiciones de materiales que son ingresadas al sistema de información de la empresa y que incluyen información relevante para el área de adquisiciones como código y descripción del material, cantidad solicitada, fecha requerida y orden de trabajo y proyecto que lo solicita. Los materiales que son solicitados y que no se encuentran en el almacén aparecen en la gestión de compras del analista respectivo para que este realice el proceso de adquisición. En el gráfico 2 se muestra en forma general el proceso de compra de materiales para bienes que no requieren elaboración de contratos por el monto de la compra.

**Gráfico 2. Proceso de Abastecimiento**



Fuente: Elaboración propia



La organización cuenta con un manual de contratación en el que se detallan las diversas modalidades de compra que van desde una selección simplificada que implica la selección de proveedores potenciales y el envío de solicitudes de cotización para posteriormente escoger la opción más apropiada de acuerdo a las necesidades del proyecto; hasta la selección de un único proveedor por condiciones específicas, es decir, porque por ejemplo es el único que puede suministrar el bien.

El área de adquisiciones es también la responsable de gestionar acuerdos con proveedores como contratos de consignación o acuerdos de precio de manera que se optimicen los procedimientos de compra de bienes de alta rotación. En este caso, el analista no debe realizar un proceso de creación de una orden de compra sino que basta con la emisión de una orden de pedido directa al proveedor.

Una vez que el analista elabora la orden de compra luego de cumplir con el procedimiento de selección del proveedor, esta es revisada y aprobada por el jefe de Adquisiciones. En caso de ser aprobada es enviada al proveedor para que este realice el respectivo despacho. La creación de la orden de compra y la aprobación de la misma se realiza a través del sistema de información, pero el envío de la confirmación al proveedor debe hacerse por medio de correo electrónico.

Para el caso de bienes que deben ser comprados en el exterior existe un área de comercio exterior encargada de asesorar en materia de importaciones y un analista que se encarga de tramitar la importación de dichos materiales.

El manual de contratación especifica además unos montos límites y unos niveles de aprobación. Es decir, para materiales de alto costo como los sistemas principales de un buque, no se realizan órdenes de compra sino que se elabora un contrato para el suministro del paquete de bienes, el cual debe ser aprobado de acuerdo con el monto por el jefe del departamento administrativo, el jefe de la dirección financiera y administrativa y en algunos casos por el presidente de la organización.

En la línea de negocio de construcciones, donde se requiere la compra de equipos de alto grado de complejidad, costo, impacto y tiempo de entrega, se encuentra la figura del coordinador logístico que tiene como función servir de puente entre las áreas encargadas de

administrar el proyecto y el área de adquisiciones. En algunos proyectos de reparación de gran envergadura también se requiere de un coordinador logístico.

El analista de adquisiciones es responsable de realizar seguimiento a la entrega de los materiales hasta el momento en que estos son recibidos por el almacén.

La empresa ha seleccionado unos materiales para los cuales no se realizan procesos de compra cada vez que surge la necesidad en un proyecto sino que se efectúan compras consolidadas con cargo al almacén y se mantienen estos materiales como de stock para asegurar la disponibilidad a los proyectos.

El volumen de órdenes de compra realizadas en los últimos años en la organización se muestra en la tabla 7 así como la cantidad de proveedores diferentes a los que se les han realizado compras.

**Tabla 7.** Órdenes de compra y Proveedores 2008-2011

AÑO	BIENES		SERVICIOS	
	OC	PROVEEDORES	OC	PROVEEDORES
2008	4784	397	4416	467
2009	5383	416	4722	455
2010	5569	480	4230	560
2011 (a 31 de octubre)	5496	392	3253	484
TOTAL	21232	807	16621	1013

Fuente: Elaboración propia.

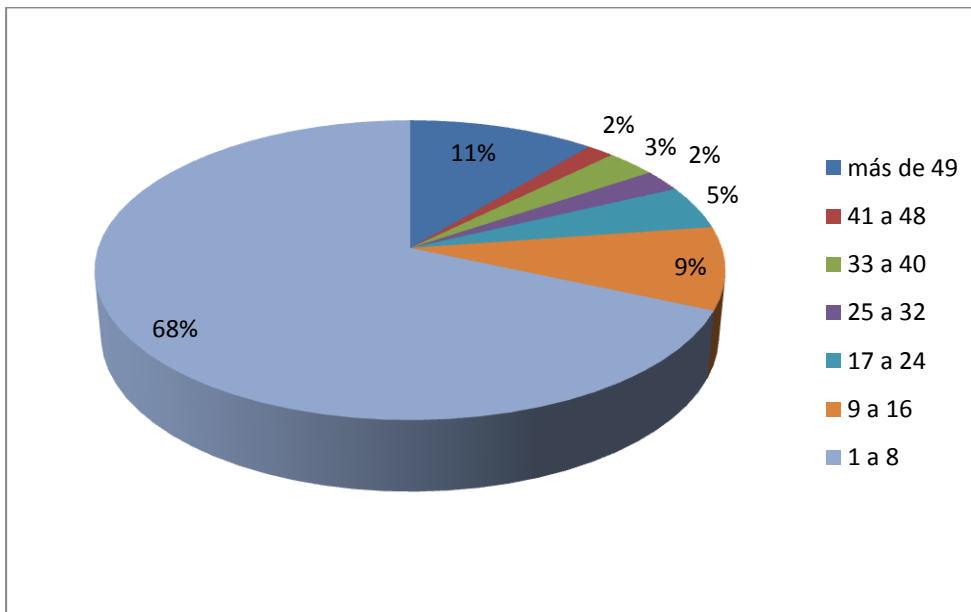
De la información anterior y de lo evidenciado en la caracterización de los procesos se muestra la falta de una política clara para las compras enfocada en la consolidación de pedidos, el establecimiento de acuerdos y la reducción del desgaste administrativo asociado a la realización de órdenes de compra.

El desarrollo de alianzas y acuerdos con proveedores que garanticen relaciones a largo plazo es aún incipiente y se evidencia en la gran cantidad de proveedores a los que se están comprando bienes y servicios, a muchos de los cuales, se les compra una sola vez. Esto genera ineficiencia en el proceso por todo el trámite que debe surtir un proveedor para ser inscrito en el maestro de proveedores para solo comprarle una única vez. Lo anterior se

evidencia en que durante el año 2011 a 30 de septiembre se realizaron 643 órdenes de pedido<sup>5</sup> a 14 proveedores, lo cual solo representa solo el 12% de las órdenes de compra realizadas ese año.

La falta de relaciones a largo plazo con proveedores se puede ver en el gráfico 3 donde al 68% de los proveedores a los que se le compraron bienes entre el 2008 y el 2011 no se le hicieron más de 8 órdenes de compra, es decir, dos o menos órdenes de compra por año.

**Gráfico 3.** Órdenes de compra por proveedor 2008-2011



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma de los 807 proveedores de bienes y 1013 proveedores de servicios, solo 157 y 148 respectivamente, han sido proveedores permanentes en los cuatro años de estudio.

Aunque la empresa cuenta con un modelo de clasificación de los proveedores y los materiales esto no se evidencia en la realización de estrategias de compra diferenciadas para cada tipo de material. La naturaleza de la actividad de la empresa dificulta el establecimiento de estrategias para determinar las necesidades de adquisición y en la mayoría de los casos, los analistas responden de manera reactiva una vez que ya se ha generado la necesidad de un material en un proyecto.

<sup>5</sup> Las compras a proveedores con los que se tienen suscritos contratos globales, de suministro o acuerdos de precio no requieren de la autorización del Jefe de la División de Adquisiciones y se manejan bajo la figura de órdenes de pedido.

## 2.2 Almacenamiento

La organización cuenta con un área de almacenes encargada de la recepción, almacenamiento y entrega de los materiales que son comprados para las actividades productivas y de funcionamiento. Esta se encuentra conformada por un jefe de división, un jefe de almacén para cada planta, dos auxiliares encargados de la recepción y entrega de materiales en cada planta, ayudantes de bodega y una persona encargada de la gestión de inventarios.

En infraestructura, se cuenta con una bodega central en cada planta en la que se almacenan los materiales de acuerdo con las condiciones de almacenamiento y las características físicas del producto. Los almacenes cuentan con estantería para el almacenamiento de materiales en estiba, estantería para el almacenamiento y recogida de materiales en forma manual, zonas para el almacenamiento de materiales en piso y cuartos con condiciones de temperatura especiales como un cuarto refrigerado para elementos electrónicos y resinas, y un cuarto con temperatura controlada para almacenar la soldadura.

La distribución física del almacén central en cuanto a la ubicación de las estanterías no permite la total maniobrabilidad de los equipos de carga en el almacén. Entonces, la mercancía debe ser ubicada en forma manual por los auxiliares de bodega, lo que representa un riesgo para estos y hace ineficiente las operaciones de ubicación y recogida de los materiales.

Además de los almacenes centrales existen unos almacenes satélite en los que se almacenan materiales extra-dimensionados o áreas de almacenamiento para materiales como arena para sandblasting, madera, láminas de acero, gases, tubos y perfiles.

En la tabla 8 se relacionan los equipos con que cuenta la organización para realizar la operación logística de recepción, almacenamiento y entrega de materiales.

**Tabla 8.** Equipos de operación logística

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN	UBICACIÓN
Estibas	Soportes de madera (100 cm X 120 cm) para almacenar diversos materiales. En muchos casos son las estibas en las que el material es entregado por el proveedor	Almacenamiento	Almacenes centrales
Estantería	Estructuras metálicas y de madera de distintos tamaños y capacidades para almacenar materiales	Almacenamiento	Almacenes centrales
Cantilever	Estructuras metálicas para el almacenamiento de tubos	Almacenamiento	Almacenes centrales
Contenedores	Recipiente de grandes dimensiones para almacenamiento de materiales como arena, soldadura y granalla	Almacenamiento	Contenedores de 20 y 40 pies en las dos plantas
Cuarto refrigerado	Bodegas acondicionadas para el almacenamiento de materiales y equipos que deben requerir mantenerse a una temperatura inferior a la temperatura ambiente	Almacenamiento	Almacenes centrales
Cuarto de soldadura	Bodega acondicionada para el almacenamiento de soldadura que debe mantenerse a una temperatura superior a la temperatura ambiente	Almacenamiento	Almacén central planta 1
Gatos-Carretillas	Dispositivo manual para la manipulación de materiales dentro del almacén	Transporte	Dos de 250 kilos en los almacenes centrales
Montacargas	Vehículo motorizado para el transporte de carga entre almacenes y a las posiciones de varada	Transporte, manipulación	Dos de 3 toneladas marca Hyster en los almacenes centrales
Cargador	Vehículo eléctrico para el transporte y acomodo de materiales en estantería en el almacén	Transporte, manipulación	Uno de dos toneladas marca Hyster N45ZR

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de almacenamiento inicia cuando el proveedor llega al almacén. Como no se realiza con adquisiciones una programación conjunta de la llegada de materiales, el almacén

solo conoce de la llegada de materiales cuando el proveedor se encuentra en la planta. El proveedor debe entregar al auxiliar de entrada la orden de compra enviada por la empresa y la remisión para que el material sea recibido. Luego se verifican los datos de la orden de compra como la fecha y lugar de entrega establecido, la descripción y cantidad de material. Además se verifican las especificaciones del material y que este se encuentre en buen estado.

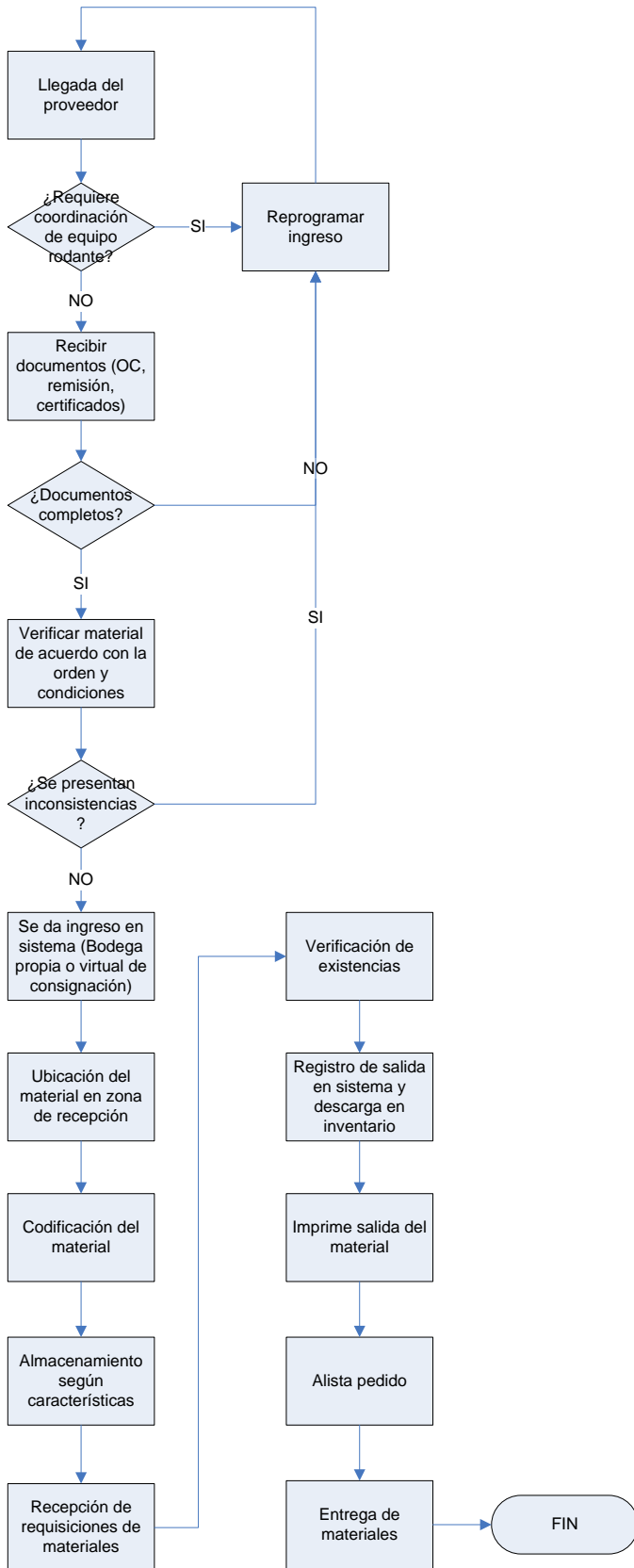
Para productos de altas especificaciones técnicas sobre los que el auxiliar no tenga conocimiento se debe solicitar la verificación por parte de un experto del área productiva. Aunque existe un procedimiento para la recepción de materiales críticos en el almacén este no es aplicado por el personal encargado del ingreso de materiales.

Materiales como las láminas de acero naval requieren de certificados de calidad o documentos adicionales que deben ser entregados por el proveedor. Para materiales que requieren de equipos de descargue o manipulación especiales por su peso o dimensiones se debe programar la recepción del material para contar con los equipos al momento de llegada del proveedor.

Una vez el material es recibo a satisfacción, el auxiliar de entradas recibe los documentos y hace el ingreso del material al sistema de información. El material es entonces ubicado en la zona de recepción y se almacena ahí temporalmente para luego ser marcado con el código utilizado por la empresa. Este código no presenta ningún tipo de estructura sino que es un consecutivo que arroja el sistema de información a la hora de agregar un material al Maestro de Materiales. Por lo tanto, el código no ofrece información sobre la naturaleza, ni características del material. De igual manera el material recibido no es medido, ni pesado, por lo que no se conocen los pesos y/o volúmenes de los materiales que se encuentran en el almacén.

El proceso general de recepción, almacenamiento y entrega de materiales se ilustra en el gráfico 4.

**Gráfico 4.** Proceso de recepción, almacenamiento y entrega de materiales



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, la empresa establece contratos de consignación con algunos proveedores. En estos contratos, los materiales se encuentran almacenados en las instalaciones de la organización pero son cargados al inventario propio una vez son solicitados por algún proyecto. Los materiales que se mantienen bajo esta modalidad son las pinturas, la soldadura y los elementos de protección personal. El criterio para seleccionar estos materiales fue la alta rotación de los mismos. Las solicitudes de estos materiales a los proveedores son tramitadas directamente por el personal de almacén y se ingresan al sistema a una bodega virtual correspondiente al proveedor.

Aunque al momento de elaborar una Orden de Compra por parte de la División de Adquisiciones el proveedor se compromete con una fecha de entrega, esta rara vez se cumple, lo que hace imposible conocer qué proveedores van a llegar cada día. Para evidenciar este problema se analizaron las órdenes de compra de bienes realizadas en el 2008, 2009 y 2010 hasta 24 de agosto, comparando la fecha de entrega requerida y la fecha de recepción en el almacén. Para el caso de materiales con entregas parciales se consideró como fecha de recepción la fecha de la última recepción en inventario.

Como las órdenes de compra se realizan en la mayoría de los casos por más de un ítem y en algunos casos las fechas de entregas son diferentes para cada uno, se realizó el análisis por material y no por orden de compra. La tabla 9 muestra el resultado del análisis de cumplimiento de tiempos de entrega (lead times).

**Tabla 9.** Tiempos de entrega para los ítems comprados en el periodo 2008-2010/08

CUMPLIMIENTO DE ENTREGAS	2008		2009		2010	
	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
Cumple fecha de entrega	1667	10,31%	2348	11,15%	1565	9,86%
Entrega posterior a la fecha programada	11726	72,53%	15728	74,70%	11877	74,85%
Entrega antes de la fecha programada	2773	17,15%	2978	14,14%	2426	15,29%
TOTAL BIENES COMPRADOS	16166	100%	21055	100%	15868	100%

Fuente: Elaboración propia



De lo anterior se evidencia la inexistencia de políticas para el incumplimiento en la entrega de materiales por parte de los proveedores. Esto genera problemas, especialmente con los trabajos de reparaciones que no son de larga duración y ocasiona que el material llegue cuando el proyecto ya se ha cerrado y por tanto estos materiales quedan represados en el almacén.

De igual manera, no se percibe el problema que generan las llegadas antes de tiempo tanto como las llegadas después de tiempo, pues implican la utilización de espacios de almacenamiento por más tiempo.

En los tres años del estudio el comportamiento es muy similar con un cumplimiento en la fecha de entrega de sólo el 15% aproximadamente de los ítems comprados por la organización. Sin embargo, el personal de la División de Adquisiciones manifestó que en algunos casos la empresa acuerda con el proveedor entregas después de la fecha programada, pero no se mantiene registro de dichos aplazamientos y que en otros casos el ingreso de los materiales al almacén por parte del Auxiliar de Entradas se realiza el día siguiente de la entrega física del material.

Otro problema que se evidencia en la recepción y entrega de materiales en el almacén, es que no existen políticas oficiales respecto a los horarios de atención a proveedores y clientes, sobre todo para los materiales que requieren características especiales de manejo, y por tanto estos horarios son sujetos a cambios repentinos por parte de la dirección de Almacén.

Una vez se marcan los materiales, estos son almacenados en la bodega donde se encuentran establecidas unas zonas por tipo de material. Se maneja almacenamiento dedicado para los materiales que son utilizados comúnmente por los diferentes proyectos y aquellos materiales que son utilizados para el funcionamiento de la planta. Sin embargo, aquellos equipos y materiales especiales empleados en proyectos de construcción y reparación específico, son almacenados en zonas que se encuentren disponibles.

La estantería y las zonas de almacenamiento no se encuentran demarcadas y aunque se tienen establecidas zonas específicas de la bodega para el almacenamiento de ciertas familias o clases de productos, no se han definido espacios ni condiciones específicas de almacenamiento para cada material.

No se tienen claros los criterios de identificación y ubicación de materiales empleados en el centro de almacenamiento aunque en general se ubican de acuerdo al tipo de material. En

muchos casos se almacenan materiales en donde haya espacio disponible, lo que hace difícil la labor de recuperación y picking.

Existen áreas para el almacenamiento de materiales que requieren condiciones especiales de temperatura como la soldadura o los materiales que requieren almacenarse refrigerados.

Se utilizan cajas para almacenar materiales de referencias diferentes, lo que dificulta la posterior ubicación e identificación de los mismos. Las láminas y tuberías son almacenadas en cerramientos al aire libre, lo que puede ocasionar el deterioro de los materiales. La arena es almacenada en contenedores y en un cuarto que no la protege de las condiciones ambientales.

Entre las principales causas que ocasionan el deterioro y/o daño de materiales en almacenamiento se encuentran el mal manejo, la obsolescencia, la ubicación de los materiales en lugares inadecuados, el vencimiento, la baja rotación de algunos ítems, las malas condiciones de almacenamiento.

Para realizar un control de las existencias en inventario se efectúan conteos periódicos de la totalidad de los materiales que se encuentran en las diferentes bodegas de la Corporación, en las dos sedes, cada dos meses. Como no se conoce claramente la ubicación de los materiales en el almacén y las personas asignadas pertenecen a otra área se necesita de la permanente guía de los auxiliares de bodega y de almacén.

El personal encargado realiza un primer conteo de todos los materiales y luego se entregan estos listados para ser digitados y comparados con el inventario que se encuentra en el sistema de información. Si existen inconsistencias en las cantidades de algunos materiales se procede a realizar un segundo conteo. Si las inconsistencias persisten, se compara el primer y el segundo conteo y si estos son iguales se registran las cantidades del conteo en el sistema. Si los dos primeros conteos no son iguales se hace un tercer conteo y se registran estas cantidades en el sistema.

Las inconsistencias, bien sea por faltantes o sobrantes, deben revisarse para encontrar la causa y deben estar debidamente justificadas por el Almacenista en el informe de inventarios que debe elaborarse luego de la toma física.

Además de los materiales que se manejan a través de contratos de consignación, el almacén es responsable del control de inventarios y del abastecimiento de ciertos materiales que son utilizados por la mayoría de los proyectos. Los materiales que el almacén mantiene como de stock son:

- Elementos de dotación: uniformes, botas, guantes, gafas, entre otros.
- Abrasivos: discos para pulir, arena, lijas.
- Láminas de acero
- Elementos de ferretería: puntillas, candados, brochas, rodillos, linternas, cintas metálicas, cintas, marcadores para metal.
- Elementos de aseo y cafetería: wipall y wipers
- Papelería: formatos y talonarios como vales de taxi y permisos de trabajo en caliente
- Gases industriales

Para establecer las necesidades de estos materiales no se hace uso de ninguna técnica de pronóstico sino que se establecen las necesidades a través de consultas que se hacen a producción sobre sus proyectos, se consolidan las necesidades y se realizan los pedidos. El criterio para realizar un nuevo pedido es la verificación de las cantidades en existencia; si estas se encuentran por debajo de un punto mínimo que es establecido de forma subjetiva se hace un nuevo pedido considerando las necesidades de los proyectos. Los inventarios de seguridad que se mantienen no son apropiados por lo que se presentan agotamientos.

No existe una política de seguimiento y control al vencimiento de materiales en almacenamiento, ni una política de rotación de inventarios pues los auxiliares de bodega por lo general seleccionan el material que se encuentre más accesible.

Como no se mantienen registros de volumen y peso de los materiales que se mantienen en inventario, no se puede realizar un análisis ABC por factores logísticos, y sólo puede hacerse por el factor costo de compra. En la tabla 10 se muestra el análisis ABC para los materiales por porcentaje del costo de compra durante el 2009 sobre el total de compra de materiales en ese año.

**Tabla 10.** Clasificación ABC por costo de los materiales ingresados al Almacén en el 2009

CLASE	NOMBRE	% ACUM
008	Láminas, ánodos, perfilería	21,28%
024	Repuestos y motores	40,16%
003	Tubería, válvulas y accesorios	51,01%
007	Elementos eléctricos y electrónicos	59,08%
016	Ferretería y construcción	65,77%

015	Maquinaria y equipos de medición	69,66%
001	Abrasivos	73,39%
026	Soldaduras y gases industriales	76,93%
020	Lubricantes, resinas y químicos industriales	80,14%
014	Equipos de cómputo y comunicación	82,95%
025	Vestuario y seguridad industrial	85,60%
004	Accesorios navales	88,03%
005	Accesorios para soldadura	90,11%
028	Pinturas y recubrimientos	92,00%
021	Maderas	93,04%
009	Tornillos, tuercas y arandelas	93,98%
018	Herramientas	94,89%
006	Accesorios y equipos para refrigeración	95,64%
013	Elementos habitacionales	96,39%
023	Papelería y útiles de oficina	97,12%
002	Mangueras y sus accesorios	97,81%
017	Filtros	98,49%
012	Elementos de aseo y cocina	99,11%
019	Hilos, telas y plásticos	99,63%
010	Cauchos, empaques y sellos	99,85%
027	Vidrios	99,92%
011	Correas	99,98%
022	Medicamentos y elementos de enfermería	100,00%
	<b>Total</b>	

Fuente: Elaboración propia

La valoración de los inventarios a nivel contable se realiza de acuerdo con un promedio ponderado, lo que ocasiona problemas en la estimación de costos de los proyectos cuando adquieren un material pues el costo al que lo compran es diferente al costo que el material tiene en el sistema al momento de retirarlo del almacén.

Otro problema generado por esta manera de valorar los inventarios es la sobrevaloración de los mismos respecto a las existencias físicas. Esto se debe a que como no existen políticas de rotación de inventarios en el almacén, por lo general los auxiliares de bodega terminan recogiendo el material que se encuentra más accesible, que es el último que se ubicó y por tanto se mantienen en el almacén los ítems más viejos, que generalmente fueron comprados a menor precio.

Un problema del sistema de información que dificulta una correcta administración de los inventarios, es que no hay posibilidad de reservar materiales por proyectos. Esto ocasiona dificultades en dos sentidos: primero porque un proyecto puede retirar material que fue adquirido por otro, pues no se amarran los materiales a los requerimientos y segundo porque si un proyecto compra un material especial y no lo retira o lo retira en forma parcial no se puede conocer fácilmente quién los solicitó de manera que se exija su retiro y el cargo de los costos a este proyecto.

Inadecuadas políticas de gestión de inventario y de almacenamiento ocasionan la acumulación de inventario que no rota en los almacenes y que puede llegar a vencerse o hacerse obsoleto, generando mayores costos logísticos. Adicionalmente, esta ausencia de políticas ocasiona que en algunos casos se soliciten para compra materiales que se encuentran en inventario y como no se realiza un filtro por parte de la División de Adquisiciones, estos se terminan comprando nuevamente.

Para evidenciar el problema se realizó un análisis de la rotación de inventarios en la bodega central. Para esto se tomó como base el inventario a 29 de diciembre de 2009 para esta bodega y se hizo seguimiento a las transacciones de entradas y salidas de los materiales entre el 30 de diciembre de 2009 y el 24 de agosto de 2010. En la tabla 11 se muestran los resultados del análisis.

**Tabla 11.** Rotación de los materiales en inventario

ROTACIÓN	CANTIDAD	%
Total ítems en inventario	2986	
Ítems sin transacciones de salida a la fecha	1470	49,23%
Ítems sin salidas y con transacciones de entrada	29	1,97%

Fuente: Elaboración propia.

De las 2986 referencias que se encontraban en inventario el 29 de diciembre de 2009, el 49% no tuvo ningún movimiento de salida en ocho meses, es decir, casi la mitad de las referencias que se encuentran en inventario no fueron solicitadas por ningún proyecto ni centro de costo. Adicionalmente, 29 de esas referencias, a pesar que no fueron solicitadas si tuvieron transacciones de entrada. Esto evidencia que no se están verificando las existencias en inventario a la hora de hacer las requisiciones de compra. El valor de este inventario estático es de \$ 1.023.774.652,62, lo que genera repercusiones en los estados financieros de la empresa.

Se analizó también el movimiento de los materiales que no se encontraban en inventario pero que reportaron transacciones de entradas y/o salidas en el periodo de estudio. La tabla 12 muestra los resultados del estudio.

**Tabla 12.** Movimiento de materiales que no se encontraban en inventario a 29 de diciembre de 2009.

Total ítems	4086	
Materiales en tránsito (cantidad de entrada=cantidad de salida)	3061	74,91%

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se puede evidenciar que el 75% de estos 4086 materiales entró y salió en la misma cantidad pero el 25% restante permanecía en inventario a la fecha de análisis.

Por último, cuando un proyecto necesita un material realiza una requisición de materiales en el sistema de información y esta es impresa para ser entregada al auxiliar de salidas y este haga el despacho. Este revisa que se cuente con existencias suficientes para cumplir con el pedido. El documento, con el visto bueno del auxiliar de bodega es entregado al auxiliar de salidas para que registre la salida en el sistema y así poder descargar los materiales del inventario. Este revisa si existe inventario en el sistema y que no se haya entregado ya la

requisición, si no existe inventario suficiente se realiza entrega únicamente del material existente y se solicita una compra de este material.

El auxiliar de salidas imprime la salida para que personal de almacén pueda hacer el alistamiento y el despacho del pedido. El proceso de entrega de materiales a los cliente internos es lento porque la requisición se entrega por los alistadores de materiales al almacén en el momento en que necesitan los materiales y por tanto deben esperar que los auxiliares de bodega alisten el pedido y el auxiliar de salidas lo revise para realizar la transacción de salida respectiva.

El sistema de información no permite la realización de la salida en forma automática a partir del código de la requisición, sino que para hacerla se deben digitar nuevamente los códigos y cantidades de materiales. En muchos casos, los proyectos realizan requisiciones por varios materiales pero no solicitan el retiro de la totalidad de las referencias o de la totalidad de las cantidades y para llevar un control se debe hacer una anotación manual sobre la hoja impresa de la requisición porque no se pueden hacer a través del sistema.

Una vez realizada la caracterización de los procesos de abastecimiento y almacenamiento se evidencia la falta de una política clara para las compras que vaya de la mano con estrategias diferenciadas para los materiales de acuerdo con su importancia para la organización. De igual forma, ante la inexistencia de una metodología de gestión de inventarios, no se tienen establecidos inventarios de seguridad para los materiales que así lo requieran y por tanto se presentan constantes agotamientos y retrasos en los proyectos.

## 3. Estimación del costo de la operación logística

Para un astillero es muy importante conocer el costo de su operación logística pues estos de manera indirecta influyen en la rentabilidad de los proyectos. Estos costos de operación logística se encuentran divididos en dos grandes categorías:

- Costo de ordenar o costo de realizar un pedido: Es el costo fijo asociado al reabastecimiento (no depende del tamaño del pedido). Incluye el costo de los formularios de órdenes, llamadas de teléfono, autorizaciones, digitación de órdenes, recibo, inspección, seguimiento y el manejo de las facturas de los clientes (Silver et al., 1998).
- Costo de mantener en inventario: Este costo incluye el costo de oportunidad del dinero invertido, los gastos incurridos en el manejo de las bodegas, los costos de manejo y conteo, los costos de requerimientos especiales de almacenamiento, deterioración del stock, daños, robos, obsolescencia, seguros e impuestos (Silver et al., 1998). Los costos de mantener anuales se calculan así:

$$CM = I \cdot v \cdot r \quad (2)$$

Donde,  $I$  es el inventario promedio en unidades,  $v$  es el costo unitario (es el precio incluyendo los fletes pagados al proveedor) y  $r$  es el cargo de mantenimiento que es el costo en pesos de mantener un peso en inventario por un año (Silver et al., 1998).

El costo de oportunidad del capital es el retorno a la inversión que puede ganarse en la siguiente oportunidad más atractiva que no puede tomarse por la decisión de invertir los recursos disponibles en inventarios. Como este costo puede variar día a día, se establece un valor fijo y se cambia solo si surgen grandes cambios en el ambiente de la empresa (Silver et al., 1998).

### 3.1 Costo de mantener

El procedimiento utilizado para calcular el costo de mantener materiales en inventario se describe a continuación:

1. Se solicitó información a la División de Contabilidad sobre los gastos cargados al centro de costos del almacén para el 2009 y 2010. La información de los gastos del centro de costos de agruparon en las siguientes categorías y se obtuvieron los gastos mensuales y consolidados anuales.



**Tabla 13.** Gastos asociados al costo de mantener en inventario

<b>GASTOS DE ALMACENAMIENTO</b>
Alquiler de equipos
Combustibles, grasas y lubr.
Constr. y edificaciones
Equipo de comunicación
Impuestos
Licencias
Maquinaria y equipo
Muebles y enseres
Papelería
Personal
Seguros
Servicios
Trans. Flete y acarreo

Fuente: Elaboración propia

2. Para el caso de los terrenos, las instalaciones sobre las que funciona el astillero no son propias y las edificaciones ya estaban construidas cuando esta entró en operación. Sin embargo, en los proyectos de adecuación y modernización del sistema de almacenamiento que iniciaron en el 2009 se realizaron inversiones en la infraestructura de las bodegas y en la compra de equipos logísticos (montacargas, estantería, etc). Estas inversiones entran a hacer parte del balance como "Inversiones en propiedad ajena". Se solicitó la información de estas inversiones a la División de Costos y Presupuestos y a la División de Almacenes para el 2009 y 2010 hasta 30 de septiembre. Las ejecuciones del proyecto por zona de almacenamiento fueron presentadas anteriormente, pero el detalle de las inversiones se encuentra en el Anexo A. Estimación del Costo de Mantener. En la tabla 14 se resume la forma como fueron agrupadas las inversiones.

**Tabla 14.** Inversiones en el Almacén

<b>INVERSIONES EN EL ALMACÉN</b>
Infraestructura Zona A
Infraestructura Zona A – Planta 2
Infraestructura Zona B
Infraestructura Zona C
Infraestructura Zona D
Maquinaria Y Equipos
Muebles Y Enseres
Otros

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las inversiones en infraestructura y mejora de las bodegas y espacios de almacenamiento se consideró un periodo de 20 años para la amortización de las inversiones, es decir, que el costo anual de almacenamiento por concepto de edificaciones corresponde al 5% de las inversiones realizadas. En el año 2009 se consideraron las inversiones realizadas en este año y el 2010 las realizadas en lo corrido del 2010 más las del 2009.

3. Para los gastos asociados al almacenamiento, que varían mes a mes, se consideró un costo mensual promedio. Un gasto adicional que se incluyó fue el asociado a los materiales vencidos, dañados u obsoletos el cual fue obtenido del informe de inventario que se realizó al cierre del año 2009.

4. Una parte importante del costo de mantener la constituye el costo de oportunidad asociado al capital que se encuentra invertido en inventarios y que por tanto no puede utilizarse en otra opción de inversión. El costo de oportunidad de los inventarios o costo financiero del stock, para el caso del astillero objeto de estudio se considera como el valor promedio ponderado del DTF<sup>6</sup> del 2009. Este valor para el 2009 corresponde al 6,36% anual. Se consideró la tasa de interés de los CDT debido a la naturaleza de la organización como entidad sin ánimo de lucro.

---

<sup>6</sup> Tasa de Interés de los Certificados de Depósito a Término a 90 días. Corresponde a las tasas de captación de CDT a 90 días, promedio mensual ponderado, informada por bancos, corporaciones financieras, corporaciones de ahorro y vivienda y compañías de financiamiento comercial de todo el país a la Superintendencia Financiera. Fuente: Banco de la República con información suministrada por la Superintendencia Financiera de Colombia.

En la tabla 15 se detalla el cálculo de los costos logísticos asociados al mantenimiento de mercancías en inventario en forma anual y mensual relacionados a la infraestructura para el almacenamiento, la manipulación y administración de las mercancías y otros costos como los impuestos, seguros y costos de obsolescencia.

**Tabla 15.** Costos de Almacenamiento

CONCEPTO	COSTO 2009	PROMEDIO MENSUAL	COSTO 2010 A 31/08	PROMEDIO MENSUAL
<b>1. ALMACENAMIENTO</b>				
<b>SUELO</b>	0	0	0	0
<b>EDIFICACIÓN</b>	\$ 28.380.277	\$ 2.365.023	\$ 61.559.976	\$ 7.694.997
<b>AMORTIZACIÓN CONSTRUCCIONES Y EDIFICACIONES</b>	\$ 17.004	\$ 1.417	\$ 9.259.503	\$ 1.157.437
<b>2. MANIPULACIÓN</b>				
<b>ALQUILER DE EQUIPOS</b>	\$ 34.979.644	\$ 2.914.970	\$ 21.479.378	\$ 2.684.922
<b>CONSUMO DE COMBUSTIBLES, GRASES Y LUBR.</b>	\$ 150.213.132	\$ 12.517.761	\$ 21.849.473	\$ 2.731.184
<b>AMORTIZACIÓN DE EQUIPO DE COMUNICACIÓN</b>	\$ 1.745.856	\$ 145.488	\$ 5.207.127	\$ 650.890
<b>AMORTIZACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO</b>	\$ 20.907.799	\$ 1.742.316	\$ 35.611.424	\$ 4.451.428
<b>AMORTIZACIÓN DE MUEBLES Y ENSERES</b>	\$ 8.280.140	\$ 690.011	\$ 8.861.424	\$ 1.107.678
<b>PERSONAL</b>	\$ 320.275.286	\$ 26.689.607	\$ 254.861.183	\$ 31.857.647
<b>PAPELERIA</b>	\$ 5.621.755	\$ 468.479	\$ 2.003.087	\$ 250.385
<b>TRANS. FLETE Y ACARREO</b>	\$ 13.040.528	\$ 1.086.710	\$ 4.950.000	\$ 618.750

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15.** (Continuación)

CONCEPTO	COSTO 2009	PROMEDIO MENSUAL	COSTO 2010 A 31/08	PROMEDIO MENSUAL
<b>3. OTROS COSTOS</b>				
<b>IMPUESTOS</b>	\$ 1.209.201	\$ 100.766	\$ 1.042.041	\$ 130.255
<b>LICENCIAS</b>	\$ 21.725.660	\$ 1.810.471	\$ 13.909.476	\$ 1.738.684
<b>SEGUROS</b>	\$ 5.375.902	\$ 447.991	\$ 1.999.752	\$ 249.969
<b>SERVICIOS</b>	\$ 16.956.418	\$ 1.413.034	\$ 24.896.715	\$ 3.112.089
<b>DAÑOS Y OBSOLESCENCIA</b>	\$ 28.481.366	\$ 2.373.447	\$ 18.987.577	\$ 2.373.447
<b>TOTAL</b>	\$ 657.209.968	\$ 54.767.497	\$ 486.478.136	\$ 60.809.767

Para obtener el costo de mantener asociado a cada uno de los materiales que se mantiene en inventario, se obtuvieron los inventarios de las diferentes bodegas para finales de los meses de enero a septiembre de 2010 y se promedió el valor de estos inventarios como valor del inventario promedio de las bodegas.

Con este valor del inventario se establece el índice del costo de mantener en inventario cada uno de los ítems anualmente como una razón del costo de adquisición del material. El valor de este índice para el 2010 es del 1,875%. Los cálculos se relacionan en el Anexo A. Estimación del costo de Mantener. Es decir, que mantener un material en inventario representa un cargo de mantenimiento “r” (Silver et al., 1998) de  $6,36\% + 1,875\% = 8,235\%$ , es decir, mantener 100 pesos en inventario por un año representa un costo de 8,235 pesos anuales.

### 3.2 Costo de ordenar

El costo de ordenar es el costo fijo asociado a la realización de pedidos. El procedimiento utilizado para estimarlo se describe a continuación:

1. Se solicitó información a la División de Contabilidad sobre los gastos cargados al centro de costos de adquisiciones para el 2011. La información de los gastos del centro de costos

de agruparon en las categorías que se muestran en la tabla 16 y se obtuvieron los gastos mensuales y el consolidado anual.

**Tabla 16.** Gastos asociados al costo de mantener en inventario

<b>GASTOS</b>	<b>DE</b>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
Papelería, útiles de escritorio y fotocopias	porción global
Personal	

Fuente: Elaboración propia

Todas las actividades relacionadas con la generación de órdenes: digitación, comunicación con el proveedor, autorización, envío de la orden y seguimiento son realizadas por el personal de adquisiciones y se constituyen en su función dentro de la organización.

2. De las bases de datos del sistema de información de la empresa se obtuvieron los registros de las órdenes de compras realizadas por cada analista mes a mes y cuántas de estas eran órdenes de compra y cuántas órdenes de pedido. Esto debido a que el sistema de información no permite diferenciar entre ambas. Estas órdenes de pedido no incluyen el costo de aprobación por parte del jefe de adquisiciones.

3. De la dirección de Recursos Humanos se solicitó información del costo mensual del personal asociado a la realización de pedidos. Este costo incluye el salario, los aportes a salud y pensión, los parafiscales, primas, vacaciones y auxilios a los empleados como el transporte y el auxilio de alimentación. Los cargos involucrados en la realización de órdenes de compra son: Jefe de Adquisiciones, Analista de Adquisiciones y Coordinadores Logísticos.

4. Se calculó un costo promedio por línea de negocio que abarca el costo de órdenes de compra de bienes y servicios pues el procedimiento para tramitar la orden es similar.

Entre enero y octubre de 2011 se realizaron 8845 órdenes de compra de bienes y servicios a proveedores nacionales e internacionales. De estas órdenes el 10,92% corresponden a órdenes de pedido.

Casi la totalidad del costo de ordenar se encuentra en el costo de personal, el cual fluctúa de una línea de negocio a otra debido a las diferentes cantidades de solicitudes de material por los clientes internos. De igual forma, el costo de los analistas de adquisiciones también es diferente en relación con la antigüedad de los mismos en la empresa y de si son personal de nómina o temporal. En la tabla 17 se detallan los costos de ordenar por línea de negocio. En el Anexo B. Estimación del costo de ordenar, se detallan los cálculos para estimar el costo de ordenar.

**Tabla 17.** Costos de ordenar

<b>LINEA DE NEGOCIO</b>	<b>COSTO OC 2011</b>
REPARACIONES PLANTA 1	\$ 18.676,05
CONSTRUCCIONES	\$ 141.076,42
REPARACIONES PLANTA 2	\$ 24.939,09
INTERNACIONALES	\$ 171.627,39
FUNCIONAMIENTO	\$ 34.878,77
INVERSIÓN	\$ 87.151,31

Fuente: Elaboración propia

La estimación de los parámetros de costo asociados a la operación logística del astillero permitirá dimensionar el impacto que genera la operación de la cadena de abastecimiento sobre la rentabilidad de la empresa y permitirá cuantificar los ahorros que se generen productos de la implementación de los modelos de gestión de abastecimiento e inventarios.

El dimensionamiento de los costos de la operación logística permite establecer una línea base para la empresa con la que pueda evaluar las ventajas o desventajas económicas que traerá la implementación de cambios en los procedimientos y en las políticas.

El real impacto del modelo propuesto de gestión de abastecimiento e inventarios que redundará en la generación de menor desgaste administrativo en la generación de órdenes de compra por el establecimiento de relaciones más cercanas con los proveedores, la consolidación de las compras a través de acuerdos y la generación de modelos con bases sólidas que determinen la necesidad de compra materiales y evite los problemas de baja rotación y deterioro de los materiales en el almacén, solo se podrá cuantificar si se conocen estos costos.

## **4. Modelo de clasificación de materiales para el abastecimiento**

La metodología de clasificación que se desarrolla para los materiales utilizados en la construcción y reparación de buques considera variables múltiples. El enfoque de clasificación se basa en el Proceso de Análisis Jerárquico Difuso (AHP<sup>7</sup>) para clasificación ABC multivariable propuesto por (Rezaei J. , 2007) y el enfoque de portafolio de compras propuesto por Kraljic (Kraljic, 1983).

El objetivo del modelo es priorizar los materiales a partir de variables establecidas para fijar políticas de abastecimiento y gestión de inventarios apropiadas a las características de estos. Las variables son determinadas y ponderadas por expertos utilizando una matriz de comparación pareada a partir de variables lingüísticas difusas (Chang, 1996); luego se califican los bienes de acuerdo con cada uno de las variables empleando números difusos y se obtiene el puntaje final ponderado normalizado. Finalmente se ordenan los bienes utilizando el principio de comparación de números difusos y se ubican dentro de la matriz de Kraljic.

A partir de la clasificación de los materiales en el portafolio de compras de Kraljic (Kraljic, 1983) se establecen estrategias para la gestión de proveedores, el abastecimiento y los inventarios de los materiales.

### **4.1 Procedimiento**

El AHP convencional fue propuesto en primer lugar por Thomas L. Saaty en los años 70 y fue diseñado para asistir a la gerencia en situaciones de decisión caracterizadas por múltiples variables y un conjunto predeterminado de alternativas de decisión (Cakir & Canbolat, 2008). Los juicios gerenciales son las principales entradas para el AHP y se muestran como comparaciones pareadas de variables que dan la importancia relativa de una variable sobre otra en el logro de un objetivo. El método AHP emplea los valores exactos de la escala fundamental estática de nueve puntos de Saaty (Saaty, 1980). Sin

---

El Proceso de Análisis jerárquico es un método de análisis multiobjetivo para problemas discretos que permite tratar con decisiones complejas. El AHP ayuda a los decisores a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y a su comprensión del problema.

embargo, cuando los juicios son inciertos, obtener valores precisos es difícil porque el responsable de tomar decisiones puede no tener la capacidad de introducir sus juicios al hacerlos igual a valores numéricos (Cakir & Canbolat, 2008). Para superar la limitación del AHP convencional de no capturar las preferencias inciertas de quien toma las decisiones, se pueden definir las proporciones de comparación como números difusos (Cakir & Canbolat, 2008).

Para clasificar los bienes en un astillero que repara y construye buques se va a emplear una metodología de clasificación de inventario multivariable ABC desarrollada a partir de la propuesta por Rezaei (2007) que utiliza el modelo de AHP difuso propuesto por Chang (1996) para encontrar las prioridades entre las variables. Los pasos para realizar la clasificación son:

*Paso 1.* Calcule el peso ( $W_i$ ) de cada uno de las  $M$  variables utilizando AHP difuso de acuerdo con la metodología de Chang (1996).

- Sea  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  un conjunto de objetos, y  $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$  un conjunto de objetivos. De acuerdo al método de análisis extendido (Chang, 1996), se tienen ahora cada objeto y se desarrolla el análisis extendido para cada objetivo. Por consiguiente, es posible obtener los valores del análisis extendido  $m$  para cada objeto, con la siguiente notación:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, M_{g_i}^3, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

Donde todos los  $M_{g_i}^j$   $j = 1, 2, 3, \dots, m$ . son números difusos triangulares. El valor del  $i$ -ésimo objeto del análisis extendido es definido como (Büyüközkan, Kahraman, & Da, 2004):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (4)$$

Para obtener  $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ , se debe desarrollar la operación de adición de números difusos de los valores del análisis extendido  $m$  para una matriz particular, tal que:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (5)$$

Donde  $l$  es el componente inferior del número difuso triangular,  $m$  el central y  $u$  el componente superior.



Para obtener  $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$  se debe desarrollar la operación de adición de números difusos  $M_{g_i}^j$   $j = 1, 2, 3, \dots, m$ , tal que:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (6)$$

La matriz inversa de la ecuación (2), se calcula como:

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (7)$$

- El grado de posibilidad de que  $M_2 \geq M_1$  es definido como:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (8)$$

Donde existe un par  $(x, y)$  de tal forma que  $y \geq x$  y  $\mu_{M_1}(x) = \mu_{M_2}(y)$ , luego se tiene  $V(M_2 \geq M_1) = 1$ .

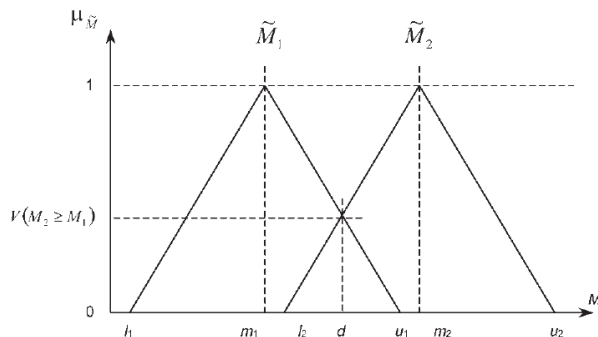
Dado que  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  y  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  son números difusos convexos, se tiene que:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = f(x) = \begin{cases} 1, & \text{Si } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{Si } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{de otra forma} \end{cases}$$

(9)

Donde  $d$  es la ordenada del punto de intersección más alto  $D$  ubicado entre  $\mu_{M_1}$  y  $\mu_{M_2}$ , tal como se muestra en el gráfico 5. Para comparar  $M_1$  y  $M_2$  es necesario conocer tanto  $V(M_1 \geq M_2)$  como  $V(M_2 \geq M_1)$ .

Gráfico 5. Intersección entre  $\tilde{M}_1$  y  $\tilde{M}_2$



Fuente: (Büyükoçkan, Kahraman, & Da, 2004).

El grado de posibilidad para que un número difuso convexo sea mayor que  $k$  números convexos  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ), es definido como:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, k) = V[(M \geq M_1) y (M \geq M_2) y \dots y (M \geq M_k)] = \min_{i=1, 2, 3, \dots, k} V(M \geq M_i) \quad (10)$$

Luego, al asumir que:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (11)$$

Para  $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $k \neq i$ . Luego el vector de pesos está dado por:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (12)$$

Donde  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) son  $n$  elementos.

- Vía normalización, el vector de pesos normalizado es:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (13)$$

Donde  $W$  no es un número difuso.

*Paso 2.* Asigne un puntaje  $(\tilde{\alpha}_{ij}, para i = 1, \dots, n)$  para cada  $N$  artículo basado en las  $M$  variables como un número triangular difuso (TFN).

*Paso 3.* Obtenga el puntaje final ponderado  $(\tilde{F}_j)$  para cada uno de los  $N$  artículos como un número triangular difuso así:

$$\tilde{F}_j = \sum_{i=1}^M \tilde{\alpha}_{ij} W_i \quad (\text{para } j = 1, \dots, n) \quad (14)$$

*Paso 4.* Ordene los artículos basados en los puntajes utilizando el principio de comparación de números difusos. Normalice los resultados para realizar la comparación.

*Paso 5.* Pre-clasifique los materiales basado en el análisis de Pareto. Considere que el 10% de los artículos con mayores puntajes son clase A, el 50% clase B, y los demás (cerca del 40%) clase C.

*Paso 6.* Ubique los materiales pre-clasificados en una matriz de acuerdo con el modelo de portafolio propuesto por Kraljic. Los materiales previamente clasificados en la categoría A van a ser ubicados en el cuadrante de bienes Estratégicos, los materiales clasificados en la categoría C son ubicados en el cuadrante de bienes Rutinarios. Los materiales clasificados

en la categoría B son divididos entre bienes Cuello de Botella y bienes Palanca de la siguiente forma: aquellos con mayores puntajes en los criterios asociados al riesgo de aprovisionamiento van a ser ubicados en el cuadrante de bienes Cuello de botella y aquellos con mayores puntajes en los criterios asociados con el impacto en las utilidades serán ubicados en el cuadrante de bienes Palanca. De acuerdo a ésta clasificación Kraljic propone unas estrategias de negociación con los proveedores que se muestran en la tabla 18.

**Tabla 18.** Clasificación de los materiales de acuerdo con el portafolio de Kraljic.

<b>CATEGORÍAS</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>ESTRATEGIAS PRINCIPALES RECOMENDADAS</b>
Artículos Estratégicos	Bienes con alto impacto en las utilidades y alto riesgo de aprovisionamiento.	Diversificar el portafolio de proveedores, balancear o aprovechar el poder de compra
Artículos Cuellos de Botella	Bienes con bajo impacto en las utilidades y alto riesgo de aprovisionamiento.	Asegurar el abastecimiento por compra en volumen
Artículos Palanca o de Apoyo	Bienes con alto impacto en las utilidades, bajo riesgo en el aprovisionamiento.	Aprovechar el poder de compra sobre el proveedor
Artículos Rutinarios	Bienes con bajo impacto en las utilidades y bajo riesgo de aprovisionamiento.	Lograr un procesamiento eficiente de las compras

Fuente: Construcción propia a partir de Kraljic (1983) y Gelderman (2003).

## **4.2 Desarrollo del modelo de clasificación**

### **4.2.1 Selección de variables**

El primer paso para la clasificación de los materiales utilizados en la reparación y construcción de buques en un astillero y la posterior ubicación en la matriz de gestión de abastecimiento consiste en la selección de las variables que deben tenerse en cuenta al momento de adquirir un bien y que son las que van a determinar la importancia de los materiales y la forma como se debe gestionar la compra de los mismos.

Para esto se diseñaron y aplicaron encuestas<sup>8</sup> al personal del astillero considerados expertos por su conocimiento de la operación y las necesidades de los proyectos. Debido a las diferencias en las líneas de negocio de construcción y reparación, se desarrollaron procesos paralelos de clasificación de materiales que conducirán al desarrollo de matrices de abastecimiento diferenciadas.

Las encuestas fueron aplicadas a personal experto del astillero en cada línea de negocio incluyendo las áreas de producción (pintura, varadero, soldadura, mecánica, programación y control de la producción), gerencia de proyectos y adquisiciones. Una vez analizados los resultados de las encuestas, fueron seleccionadas las siguientes variables como aquellas que deben considerarse en el abastecimiento de los bienes: costo, especificaciones técnicas, tiempo de entrega y criticidad del bien para la operación. En las líneas de negocio analizadas fueron seleccionadas las mismas variables por los expertos. Las tablas 19 y 20 muestran las variables seleccionadas por los expertos, la definición de las mismas y la fuente de información para realizar la calificación de los bienes a partir de estas.

**Tabla 19.** Definiciones de las variables para la línea de negocio de Reparaciones

<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>FUENTE</b>
<b>COSTO</b>	Costo total anual del material adquirido (demanda anual*costo unitario promedio)	Sistema de información
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	El material debe cumplir con una normativa o requisitos específicos de diseño, fabricación y/o funcionalidad que puede influir en la escogencia del proveedor.	Encuesta a expertos
<b>CRITICIDAD DEL BIEN PARA LA OPERACIÓN</b>	Grado en que se afecta la estabilidad de la producción y/o los tiempos de entrega de los proyectos cuando el material no está disponible en el tiempo requerido	Encuesta a expertos
<b>TIEMPO DE ENTREGA</b>	Tiempo requerido para que el material esté a disposición de producción, es decir, el tiempo entre la solicitud del material y la recepción del mismo en el almacén	Sistema de información

Fuente: Elaboración Propia.

<sup>8</sup> Anexo C. Encuesta de Selección de variables de evaluación de bienes.

**Tabla 20.** Definiciones de variables para la línea de negocio de Construcciones

<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>FUENTE</b>
<b>COSTO</b>	Participación del material en el costo total de materiales para el proyecto de construcción (demanda durante el periodo de construcción*costo unitario promedio/costo total de los materiales adquiridos)*100%	Encuesta a expertos
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	El material debe cumplir con una normativa o requisitos específicos de diseño, fabricación y/o funcionalidad que puede influir en la escogencia del proveedor.	Encuesta a expertos
<b>CRITICIDAD DEL BIEN PARA LA OPERACIÓN</b>	Grado en que un material por su nivel de tecnología, sus características geométricas y su ubicación dentro de la ruta crítica del proyecto y el sistema del buque puede influir en el desarrollo normal de las actividades del proyecto	Encuesta a expertos
<b>TIEMPO DE ENTREGA</b>	Tiempo requerido para que el material esté a disposición de producción, es decir, el tiempo entre la solicitud del material y la recepción del mismo en el almacén	Encuesta a expertos

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.2 Ponderación de variables y calificación de bienes**

Una vez identificadas las variables que son consideradas importantes para realizar la adquisición de un bien, se procede a la aplicación del procedimiento de clasificación de materiales multivariable detallado en la sección anterior. Para obtener el vector prioridad de las variables, se estableció la escala lingüística difusa con la que los expertos realizaron las comparaciones pareadas entre los mismos. Se hace uso de las escalas lingüísticas utilizadas por Chang (1996), que se describen en la tabla 21.

**Tabla 21.** Escala lingüística difusa

<b>ESCALA LINGÜÍSTICA</b>	<b>NÚMERO DIFUSO</b>	<b>FUNCIÓN DE PERTENENCIA</b>
<b>IGUALMENTE IMPORTANTE</b>	$\tilde{1}$	(1/2, 1, 3/2)
<b>MODERADAMENTE MÁS IMPORTANTE</b>	$\tilde{1,5}$	(1, 3/2, 2)
<b>MÁS IMPORTANTE</b>	$\tilde{2}$	(3/2, 2, 5/2)
<b>FUERTEMENTE MÁS IMPORTANTE</b>	$\tilde{2,5}$	(2, 5/2, 3)
<b>EXTREMADAMENTE MÁS IMPORTANTE</b>	$\tilde{3}$	(5/2, 3, 7/2)

Fuente: (Chang, 1996)

Se diseñó y aplicó una segunda encuesta<sup>9</sup> a expertos de las líneas de negocio para que compararan cada par de variables con el fin de establecer el vector prioridad de las mismas y para que calificaran los materiales de acuerdo con estas variables. La metodología de clasificación de materiales permite el uso de fuentes de información cualitativas y cuantitativas para calificar a los materiales de acuerdo con las variables seleccionadas.

#### 4.2.2.1 Línea de Negocio de Reparaciones

Para el caso de la línea de negocios de Reparaciones, el costo total anual del material y el tiempo de entrega promedio fue obtenido de los registros del sistema de información a partir de las transacciones del almacén, las solicitudes o requisiciones de materiales de los proyectos y centros de costo y de las órdenes de compra. Para evaluar y calificar los bienes se tomó como base el año 2010.

Con la base de datos de transacciones del almacén, se determinó el costo total anual de cada una de las familias de los materiales y se establecieron cuartiles para diseñar la escala de cuatro valores (Alto, Medio, Bajo y Nulo) con la que se calificaron los bienes. Para los tiempos de entrega se utilizó la base de datos de requisiciones y ordenes de compras, se establecieron para cada una de las subcategorías definidas dentro de cada familia de bienes tiempos promedio desde el momento en que se hace la requisición del material hasta que se recibe en el almacén; de acuerdo a esta información se establecieron los cuartiles y se definió la misma escala de 4 valores utilizada en la variable de Costos.

<sup>9</sup> Anexo D. Actualización de Ponderación de variables y calificación de bienes.

Para las variables que fueron evaluadas a través de juicios de expertos (Especificaciones técnicas y Criticidad del bien para la operación) se definieron unas escalas con las cuales estos calificaron los diferentes materiales. En la tabla 22 y 23 se muestran las escalas utilizadas para evaluar las variables de especificaciones técnicas y criticidad del bien para la operación.

**Tabla 22.** Definición de escalas para la variable Especificaciones técnicas.

ESCALA	DEFINICIÓN
<b>ALTO</b>	El material debe cumplir con una normativa y/o requisitos específicos de diseño, fabricación o funcionalidad que limitan la compra a un único proveedor (especificidad en la marca)
<b>MEDIO</b>	El material debe cumplir con una normativa y/o requisitos específicos de diseño, fabricación o funcionalidad que limitan las opciones a unos pocos proveedores viables en costo y tiempo de entrega
<b>BAJO</b>	El material debe cumplir con una normativa y/o requisito específico de diseño, fabricación o funcionalidad pero en el mercado existe una amplia gama de proveedores que pueden suministrar el bien a un costo y tiempo razonable
<b>NULO</b>	El material no debe cumplir con ninguna normativa o requisito específico

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23.** Definición de escalas para la variable Criticidad del bien para la operación.

ESCALA	DEFINICIÓN
<b>ALTO</b>	La no disponibilidad del material en el tiempo requerido afecta el desarrollo de los procesos y retrasa el tiempo de entrega del proyecto en un 5% o más
<b>MEDIO</b>	La no disponibilidad del material en el tiempo requerido afecta el desarrollo de los procesos y retrasa el tiempo de entrega del proyecto entre un 2% y un 5%
<b>BAJO</b>	La no disponibilidad del material en el tiempo requerido afecta el desarrollo de los procesos y retrasa el tiempo de entrega del proyecto menos de un 2%
<b>NULO</b>	La no disponibilidad del material en el tiempo requerido NO retrasa el tiempo de entrega del proyecto ni afecta el desarrollo general de los procesos

Fuente: Elaboración propia

Para calificar los materiales de acuerdo a las variables establecidas, se definieron unas subcategorías dentro de cada una de las 28 familias de materiales que se manejan en el astillero. Para seleccionarlas se escogieron las referencias o los materiales más

representativos en costos, salidas del almacén y cantidades solicitadas en el año 2010. Las sub-categorías se establecieron con el propósito de facilitar la evaluación de los expertos; el experto calificaba un material de manera particular o la familia de manera general sin particularizar en ninguno. En Reparaciones, un total de 4886 materiales diferentes, se agruparon en 361 sub-categorías.

Para obtener el vector prioridad de las variables de acuerdo con la metodología de AHP difuso propuesta por Chang (1996), se les asignó a todos los expertos la misma importancia. La matriz de comparación pareada obtenida a partir del promedio de las evaluaciones de los expertos para Reparaciones se muestra en la tabla 24. El procedimiento para obtener el vector prioridad a partir de las comparaciones entre pares de variables realizada por los expertos se desarrolla en el Anexo E. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados – Reparaciones.

**Tabla 24.** Matriz de comparación pareada de variables en Reparaciones

VARIABLE / VARIABLE	COSTO			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			CRITICIDAD PARA LA OPERACIÓN			TIEMPO DE ENTREGA		
	<b>Costo</b>	1	1	1	0,342	0,417	0,537	0,354	0,470	0,627	0,752	1,082
<b>Especificaciones técnicas</b>	2,000	2,500	3,000	1	1	1	1,317	1,740	2,300	1,179	1,633	2,090
<b>Criticidad para la operación</b>	1,917	2,400	2,950	0,575	0,797	1,073	1	1	1	0,795	1,233	1,740
<b>Tiempo de entrega</b>	1,700	2,167	2,650	0,680	0,887	1,333	0,757	1,057	1,717	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Para calcular el peso ( $W_i$ ) de cada uno de las 4 variables utilizando AHP difuso de acuerdo con la metodología de análisis extendido de Chang (1996). El valor de los objetos del análisis extendido se calcula con la ecuación:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$$

Donde por ejemplo, para  $i=1$ :



$$\sum_{j=1}^m M_{g_1}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) = ((1 + 0,342 + 0,354 + 0,752), (1 + 0,417 + 0,470 + 1,082), (1 + 0,537 + 0,627 + 1,458)) = (2,499; 2,96881; 3,62167)$$

Luego,

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) = (16; 20,3821; 25,475)$$

La matriz inversa de la ecuación anterior:

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) = \left( \frac{1}{25,475}, \frac{1}{20,3821}, \frac{1}{16} \right)$$

Finalmente para  $S_1$ ,

$$S_1 = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left( 2,449 * \frac{1}{25,475}, 2,96881 * \frac{1}{20,3821}, 3,62167 * \frac{1}{16} \right) = (0,10; 0,15; 0,22)$$

Ahora, el grado de posibilidad de que un número difuso sea mayor a otro se establece como:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = f(x) = \begin{cases} 1, & \text{Si } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{Si } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{de otra forma} \end{cases}$$

Al realizar las comparaciones entre  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  y  $S_4$  se obtiene:

**Tabla 25.** Comparación entre número difusos

S1>S2	0,028181
S1>S3	0,304943
S1>S4	0,359191
S2>S1	1
S2>S3	1
S2>S4	1
S3>S1	1
S3>S2	0,736074
S3>S4	1
S4>S1	1
S4>S2	0,691177

S4>S3	0,938851
-------	----------

Fuente: Elaboración propia

Ahora, como el grado de posibilidad de que un número difuso convexo sea mayor que los otros números difusos convexos se define como:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ y } (M \geq M_2) \text{ y } \dots \text{ y } (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i)$$

$$\text{Y como } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

Entonces,

**Tabla 26.** Vector de pesos de las variables

d'(costo)	0,028181
d'(Especificaciones técnicas)	1
d'(criticidad para la operación)	0,736074
d'(tiempo de entrega)	0,691177

Fuente: Elaboración propia

Luego el vector de pesos está dado por:

$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$  que por normalización se obtiene el vector prioridad obtenido en Reparaciones se muestra en la tabla 27.

**Tabla 27.** Vector prioridad Reparaciones

VARIABLE	COSTO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CRITICIDAD PARA LA OPERACIÓN	TIEMPO DE ENTREGA
Wi	0,011477	0,40726	0,299774	0,281489
Normalizada	1,15%	40,73%	29,98%	28,15%

Fuente: Elaboración propia

Los expertos evaluaron las categorías y sub-categorías de materiales con el uso de escalas lingüísticas que estaban asociadas a números difusos triangulares. Para las variables especificaciones técnicas y criticidad del bien para la operación, la evaluación se realizó a

partir de las escalas definidas anteriormente y para los criterios de costo y tiempo de entrega se obtuvieron los valores de las bases de datos y luego estos fueron divididos en una escala de cuatro puntos similar a la de los otros dos criterios con el uso de los cuartiles. Para facilitar la evaluación de los materiales respecto a los criterios se homogenizaron las escalas en Alto, Medio, Bajo y Nulo; así como los números difusos triangulares asociados a la misma. En la tabla 28 se muestra el número triangular difuso asociado a cada punto de la escala.

**Tabla 28.** Escala para la evaluación de las variables

ESCALA LINGÜÍSTICA	NÚMERO DIFUSO	FUNCIÓN DE PERTENENCIA
ALTO	$\tilde{2},5$	(2, 5/2, 3)
MEDIO	$\tilde{2}$	(3/2, 2, 5/2)
BAJO	$\tilde{1},5$	(1, 3/2, 2)
NULO	$\tilde{1}$	(1/2, 1, 3/2)

Fuente: Elaboración propia

La evaluación final de cada categoría y sub-categoría se obtuvo promediando las calificaciones de los expertos, utilizando las propiedades de los números difusos triangulares. Luego se obtuvo el puntaje final ponderado multiplicando la evaluación de cada variable por el peso de la variable<sup>10</sup>. El puntaje final fue ordenado utilizando el principio de comparación de números difusos que se ilustra en la metodología<sup>11</sup>.

#### 4.2.2.2 Línea de Negocio de Construcciones

En esta línea de negocio, debido a la larga duración de los proyectos de construcción, analizar el flujo de materiales durante un año no iba a brindar información representativa de las necesidades de los proyectos. Por esta razón, la calificación de los bienes según las variables seleccionadas por los expertos se realizó tomando como base el ciclo completo de un proyecto de construcción. Para el estudio realizado se tomó como ejemplo el proyecto de construcción de un buque.

A diferencia de la línea de negocio de Reparaciones, donde los criterios de Costo y Tiempo de entrega fueron evaluados con información de bases de datos del sistema de información,

<sup>10</sup> Anexo E. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados - Reparaciones

<sup>11</sup> Anexo F. Programación AHP difuso y clasificación – Reparaciones: Comparación de puntajes finales.

se recurrió los juicios de expertos para evaluar los cuatro criterios previamente seleccionados.

Sin embargo, los expertos de la dirección de Construcciones podían emitir a través de juicios subjetivos la calificación de los diferentes materiales en cuanto a estos criterios producto de su experiencia en proyectos de construcción y su conocimiento de la estrategia constructiva y del cronograma del proyecto.

Para calificar los materiales de acuerdo con cada variable se definieron las escalas que se muestran en las tablas 29, 30, 31 y 32 para los criterios Criticidad del bien para la operación, Especificaciones técnicas, Tiempo y Costo, respectivamente. Las escalas desarrolladas fueron validadas por expertos de la línea de negocio.

**Tabla 29.** Definición de escalas para la variable Criticidad del Bien para la Operación.

ESCALA	DEFINICIÓN
ALTO	El material hace parte de la ruta crítica <sup>12</sup> del proyecto y su nivel de tecnología y características geométricas requieren de su disponibilidad en los tiempos establecidos en la programación, por su alto tiempo de entrega, por hacer parte de la funcionalidad del buque, la realización de pruebas técnicas, la adaptación de la tecnología y/o porque su llegada afecta el desarrollo normal de la estrategia constructiva
MEDIO	El material se encuentra enmarcado dentro de un sistema específico, es decir, está integrado a los sistemas principales pero representan un menor grado en su nivel de tecnología. Sin embargo, requieren de su disponibilidad en los tiempos establecidos de acuerdo con la programación del proyecto, por sus tiempo de entrega, la realización de pruebas técnicas y/o la adaptación de la tecnología
BAJO	El material no hace parte de la ruta crítica del proyecto, es de tecnología conocida y no pertenece a los sistemas principales del buque ni a los equipos relacionados con la funcionalidad del mismo
NULO	Material de fácil consecución en el mercado nacional o internacional y/o materiales genéricos

Fuente: Elaboración propia

<sup>12</sup> Hace referencia a aquellos materiales cuya fecha de llegada o de obtención marcan el arranque del proyecto.

**Tabla 30.** Definición de escalas para la variable Especificaciones Técnicas.

ESCALA	DEFINICIÓN
ALTO	El material debe cumplir con una normativa y/o requisitos específicos de diseño, fabricación o funcionalidad que limitan la compra a un único proveedor (especificidad en la marca)
MEDIO	El material debe cumplir con una normativa y/o requisitos específicos de diseño, fabricación o funcionalidad que limitan las opciones a unos pocos proveedores viables en costo y tiempo de entrega
BAJO	El material debe cumplir con una normativa y/o requisito específico de diseño, fabricación o funcionalidad pero en el mercado existe una amplia gama de proveedores que pueden suministrar el bien a un costo y tiempo razonable
NULO	El material no debe cumplir con ninguna normativa o requisito específico o bien esta es indiferente para el proyecto.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31.** Definición de escalas para la variable Tiempo.

ESCALA	DEFINICIÓN
ALTO	El tiempo que transcurre desde el momento en que solicita el material y este se recibe en el almacén para ser entregado al proyecto es superior a diez (10) meses
MEDIO	El tiempo que transcurre desde el momento en que solicita el material y este se recibe en el almacén para ser entregado al proyecto está entre tres (3) y diez (10) meses
BAJO	El tiempo que transcurre desde el momento en que solicita el material y este se recibe en el almacén para ser entregado al proyecto está entre uno (1) y tres (3) meses
NULO	El tiempo que transcurre desde el momento en que solicita el material y este se recibe en el almacén para ser entregado al proyecto es inferior a un (1) mes

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32.** Definición de escalas para la variable Costo.

ESCALA	DEFINICIÓN
ALTO	La participación del material en el costo total de los materiales para el proyecto de construcción está por encima del 10%
MEDIO	La participación del material en el costo total de los materiales para el proyecto de construcción está entre el 5% y el 10%
BAJO	La participación del material en el costo total de los materiales para el proyecto de construcción está entre el 1% y el 5%
NULO	La participación del material en el costo total de los materiales para el proyecto de construcción es inferior al 1%

Fuente: Elaboración propia

Otra diferencia que se evidenció entre las líneas de negocio de reparaciones y de construcciones es la clasificación de los materiales en categorías. Las 28 familias de materiales que se manejan en el astillero dentro del sistema de información no corresponden a la forma como se determinan las necesidades de materiales por parte del área de diseño para los proyectos de construcción. En construcciones, la estrategia constructiva y el cronograma del proyecto se encuentran enmarcados en una clasificación que toma como guía el SWBS<sup>13</sup> (Ship Work Breakdown Structure) de la armada de los Estados Unidos<sup>14</sup>.

Para poder vincular la información del ERP con la que maneja la dirección de Construcciones, se desarrollaron reuniones con personal de la dirección para establecer cuáles eran los equipos y materiales que se encontraban dentro de cada grupo constructivo, así como los consumibles, herramientas, equipos de medición y otros materiales necesarios para el proceso de construcción. De esta forma se establecieron en la encuesta de calificación 82 sub-categorías de bienes en las cuales se detalla el grupo del SWBS al que pertenece y la categoría de materiales asociada, en caso que aplique.

<sup>13</sup> El SWBS, fue inicialmente promulgado por el NAVSEA, (Naval Sea Systems Command), de la marina de los Estados Unidos, el primero de marzo de 1973 con el propósito de proporcionar un lenguaje único para definir todo el ciclo de vida útil de un buque desde los estudios preliminares de costo/diseño, hasta su salida del servicio. Este sistema divide todo el buque en varios grupos bien definidos permitiendo la organización de los trabajos de diseño y mantenimiento en sectores técnicos claramente diferenciados el uno del otro, así como la organización del trabajo por especialidades profesionales asegurando que cada uno de estos segmentos pueda ser manejado por personal experto en cada área definida.

<sup>14</sup> Los Grupos constructivos para proyectos de construcción de buques siguen la estructura del SWBS.

Para obtener el vector prioridad de las variables de acuerdo con la metodología de AHP difuso propuesta por Chang (1996), se les asignó a todos los expertos la misma importancia. La matriz de comparación pareada obtenida a partir del promedio de las evaluaciones de los expertos se muestra en la tabla 33. El procedimiento para obtener el vector prioridad a partir de las comparaciones entre pares de variables realizada por los expertos se desarrolla en el Anexo G. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados – Construcciones.

**Tabla 33.** Matriz de comparación pareada de variables en Construcciones

VARIABLE / VARIABLE	COSTO			ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			CRITICIDAD PARA LA OPERACIÓN			TIEMPO DE ENTREGA		
	<b>Costo</b>	1	1	1	0,371	0,504	0,683	0,419	0,629	0,946	0,893	1,271
<b>Especificaciones técnicas</b>	1,771	2,250	2,813	1	1	1	1,425	1,875	2,333	1,125	1,625	2,125
<b>Criticidad para la operación</b>	1,479	1,938	2,563	0,559	0,738	1,058	1	1	1	1,146	1,583	2,125
<b>Tiempo de entrega</b>	1,542	2,000	2,625	0,519	0,729	1,300	0,538	0,788	1,229	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Luego al aplicar el procedimiento, el vector prioridad obtenido en Construcciones se muestra en la tabla 34.

**Tabla 34.** Vector prioridad Construcciones

VARIABLE	COSTO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CRITICIDAD PARA LA OPERACIÓN	TIEMPO DE ENTREGA
<b>Wi</b>	0,106453	0,378157	0,281732	0,233658
<b>Normalizada</b>	10,65%	37,82%	28,17%	23,37%

Fuente: Elaboración propia

Los expertos evaluaron las categorías y sub-categorías de materiales con el uso de escalas lingüísticas que estaban asociadas a números difusos triangulares. En la tabla 35 se muestra el número triangular difuso asociado a cada punto de la escala.

**Tabla 35.** Escala para la evaluación de las variables

Escala Lingüística	Número Difuso	Función de Membresía
ALTO	$\widetilde{2,5}$	$(2, 5/2, 3)$
MEDIO	$\widetilde{2}$	$(3/2, 2, 5/2)$
BAJO	$\widetilde{1,5}$	$(1, 3/2, 2)$
NULO	$\widetilde{1}$	$(1/2, 1, 3/2)$

Fuente: Elaboración propia

La evaluación final de cada categoría y sub-categoría se obtuvo promediando las calificaciones de los expertos, utilizando las propiedades de los números difusos triangulares. Luego se obtuvo el puntaje final ponderado multiplicando la evaluación de cada variable por el peso de la variable<sup>15</sup>. El puntaje final fue ordenado utilizando el principio de comparación de números difusos que se ilustra en la metodología<sup>16</sup>.

### 4.2.3 Preclasificación de bienes

Una vez ordenados y normalizados los puntajes, se realizó la primera clasificación de los materiales basada en el análisis de Pareto. El 10% de los materiales con mayores puntajes se agruparon como clase A, el 50% clase B, y el resto (cerca del 40%) clase C.

#### 4.2.3.1 Línea de Negocio de Reparaciones

En la tabla 36 se muestra la pre-clasificación obtenida para la categoría de materiales abrasivos en Reparaciones. En el Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación: Normalizados y ordenados se puede observar los resultados de esta primera clasificación utilizando el principio de Pareto.

<sup>15</sup> Anexo G. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados – Construcciones.

<sup>16</sup> Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación – Construcciones: Comparación de puntajes finales.



**Tabla 36.** Pre-clasificación de los materiales Reparaciones. Ejemplo: abrasivos.

Sub-categoría	Material	Puntaje	Puntaje normalizado	Categoría	Calificación categoría
1.1	<b>ARENA</b>	0,570032	0,003386	B	<b>C</b>
1.2	CEPILLO	0,157596	0,000936	C	
1.3	DISCOS	0,320549	0,001904	C	
1.4	<b>GRANALLA</b>	0,891318	0,005294	A	
1.5	GRATA	0,219544	0,001304	C	
1.6	LIJA	0,205809	0,001222	C	
1.7	LIMA	0,016851	0,0001	C	
1.8	MATARRAYA	0,157596	0,000936	C	
1.9	TELA PARA ESMERIL	0,207558	0,001233	C	
1.10	OTROS ABRASIVOS (PIEDRA, POMADA, PUNTA, RUEDA ESMERIL)	0,216515	0,001286	C	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.2 Línea de Negocio de Construcciones

En la tabla 37 se muestra la pre-clasificación obtenida para la categoría de materiales y consumibles del Grupo 100 (Casco y Estructura) en Construcciones. En el Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación – Construcciones: Normalizados y ordenados se puede observar los resultados de esta primera clasificación utilizando el principio de Pareto.

**Tabla 37.** Pre-clasificación de los materiales Construcciones. Ejemplo: Materiales y consumibles utilizados en la fabricación del Grupo 100: Casco y Estructura.

Sub-categoría	Material	Puntaje	Puntaje corregido	Puntaje normalizado	Categoría
100.1	LÁMINAS DE ACERO	0,50026707	0,50026707	0,01971987	B
100.2	PERFILES DE ACERO	0,4294323	0,4294323	0,01692765	B
100.3	PLATINAS DE ACERO	0,37620576	0,37620576	0,01482953	B
100.4	BARRAS DE ACERO	0,37620576	0,37620576	0,01482953	B
100.5	LÁMINAS DE ALUMINIO	0,41182406	0,41182406	0,01623356	B
100.6	PERFILES DE ALUMINIO	0,35859752	0,35859752	0,01413544	B
100.7	PLATINAS DE ALUMINIO	0,35859752	0,35859752	0,01413544	B
100.8	BARRAS DE ALUMINIO	0,35859752	0,35859752	0,01413544	B
100.9	ABRASIVOS	-0,08394379	0	0	C
100.10	ACCESORIOS PARA SOLDADURA	-0,04581261	0	0	C
100.11	SOLDADURA	0,04713961	0,04713961	0,00185818	C
100.12	GASES	0,06726331	0,06726331	0,00265143	C
100.13	PINTURA	0,19836655	0,19836655	0,00781935	C

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Resultados

Los materiales clasificados en la categoría A se ubicaron en la matriz de gestión de abastecimiento de Kraljic (1983) como materiales Estratégicos o Críticos, los materiales clasificados en la categoría C se ubicaron en el cuadrante de bienes Rutinarios y los clasificados en la categoría B se dividieron entre bienes Cuellos de Botella y bienes Palanca. Para clasificar éstos bienes, se analizaron los puntajes promedios obtenidos en cada uno de las variables. Como materiales Cuello de botella se seleccionaron aquellos que presentaron altos puntajes en los criterios de criticidad del bien para la operación y costo debido a que estos dos criterios se encuentran asociados al impacto en las utilidades y como bienes Palanca se seleccionaron aquellos que presentaron puntajes altos en los criterios de especificaciones técnicas y tiempos de entrega; criterios asociados al riesgo de aprovisionamiento.

Para realizar la clasificación entre bienes Palanca y bienes Cuello de botella se utilizó el valor medio del número difuso triangular que representa el puntaje promedio del material en cada variable; se sumó el valor del puntaje de criticidad del bien para la operación y costo, y basados en la suma expresada anteriormente se ordenaron de mayor a menor los bienes clasificados como B. Se empleó el mismo procedimiento con las variables especificaciones técnicas y tiempo de entrega. Finalmente, se agruparon como bienes palanca, aquellos bienes que se ubicaron en un orden superior con respecto a la suma de especificaciones técnicas y tiempo de entrega, y como bienes cuello de botella, aquellos bienes que se ubicaron en un orden superior con respecto a la suma de criticidad del bien para la operación y costo. El procedimiento para realizar esta clasificación se ilustra en el Anexo F. Programación AHP difuso y clasificación - Reparaciones: Ubicación en la matriz y el Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación – Construcciones: Ubicación en la matriz.

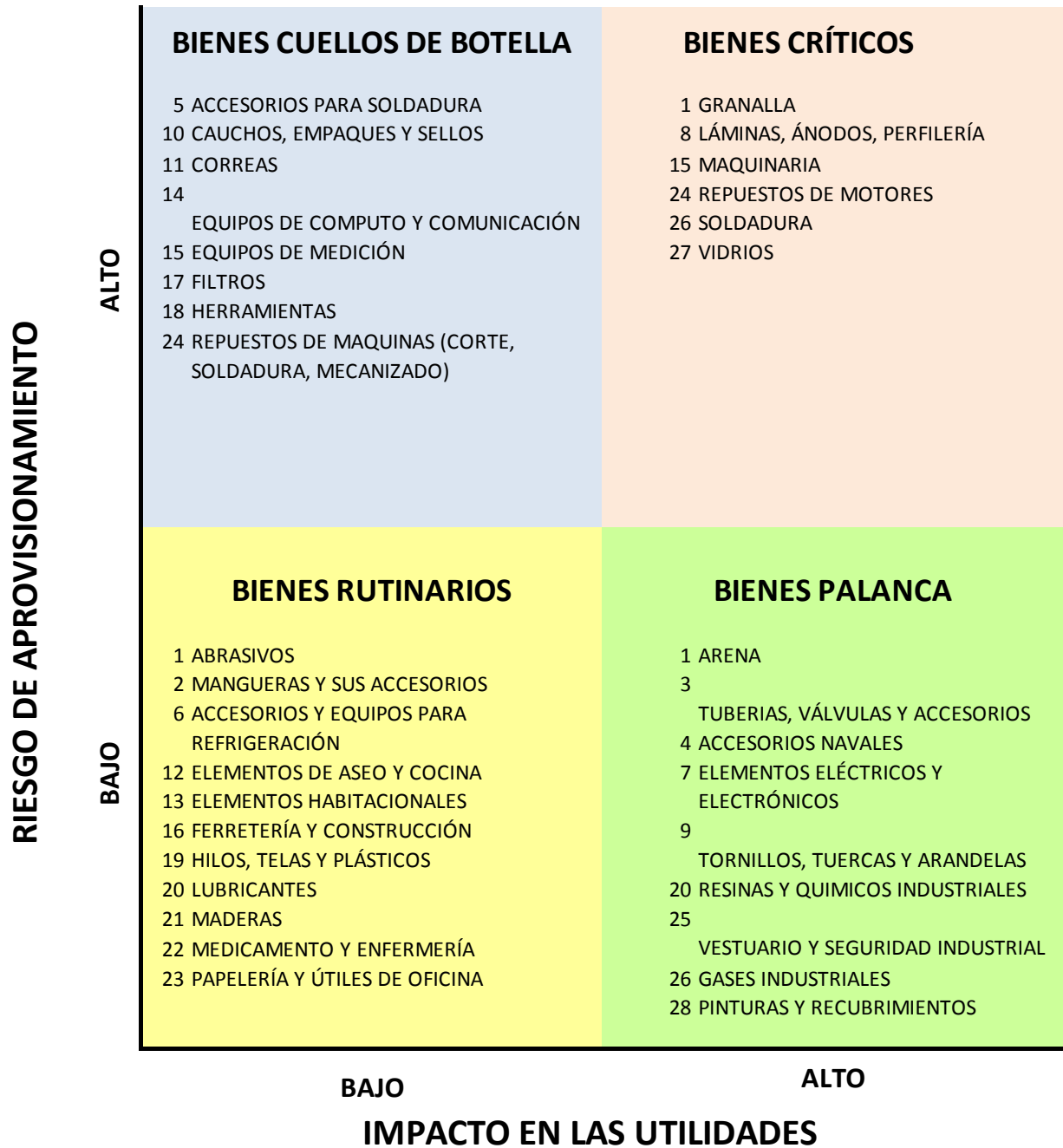
### **4.3.1 Clasificación en la matriz de kraljic**

#### *4.3.1.1 Línea de Negocio de Reparaciones*

En el gráfico 6 se puede observar la ubicación de las familias y/o sub-categorías de los diferentes materiales utilizados en la línea de negocio de reparaciones; según los cuadrantes que se proponen en el modelo de Kraljic. El número ubicado a la izquierda de la descripción del material, corresponde a la familia a la cual pertenece<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Anexo F. Programación AHP difuso y clasificación – Reparaciones: Matriz de abastecimiento.

**Gráfico 6.** Clasificación de materiales Reparaciones en la matriz de Kraljic.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.1.2 Línea de Negocio de Construcciones

En el gráfico 7 se puede observar la ubicación de las familias y/o sub-categorías de los diferentes materiales utilizados en la línea de negocio de Construcciones; según los

cuadrantes que se proponen en el modelo de Kraljic. El número ubicado a la izquierda de la descripción del material, corresponde a la familia a la cual pertenece<sup>18</sup>.

**Gráfico 7.** Clasificación de materiales Construcciones en la matriz de Kraljic.



Fuente: Elaboración propia.

<sup>18</sup> Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación – Construcciones: Matriz de abastecimiento.

## 4.4 Estrategias

Una vez clasificados los materiales se deben establecer estrategias encaminadas al desarrollo de relaciones con proveedores de acuerdo con las características del bien o servicio que este ofrece y la importancia que este tiene para el desarrollo de los procesos de la empresa. En la tabla 38 se muestran las estrategias generales sugeridas para los bienes clasificados en cada cuadrante.

**Tabla 38.** Estrategias del portafolio de compras de Kraljic

	<b>BAJO RIESGO DE ABASTECIMIENTO</b>	<b>ALTO RIESGO DE ABASTECIMIENTO</b>
<b>BAJO IMPACTO EN LAS UTILIDADES</b>	Materiales rutinarios Muchos proveedores Racionalizar los procedimientos de compra Sistemas de contratación Automatizar/delegar	Materiales cuello de botella Mercado de proveedores monopolístico Contratos a largo plazo Desarrollo de alternativas internas Planes de contingencia
<b>ALTO IMPACTO EN LAS UTILIDADES</b>	Materiales palanca Muchos proveedores disponibles Licitación competitiva Contratos a corto plazo Abastecimiento activo	Materiales estratégicos Pocos proveedores (de difícil intercambio) Contratos a mediano/largo plazo Desarrollo de proveedores/asociación (desarrollar alternativas externamente) Revisión periódica

Fuente: (de Boer, Labro, & Morlacchi, 2001)

### 4.4.1 Estrategias para bienes rutinarios

Los bienes clasificados como rutinarios o tipo C, representan por lo general bajos costos, tiempos de entrega cortos, no son de altas especificaciones técnicas ni representan criticidad para la operación. Son bienes que pueden ser suministrados por varios proveedores y que aunque representan un bajo porcentaje en los costos de compra, son los

más solicitados y por tanto abarcan un gran porcentaje de los esfuerzos administrativos para la generación de órdenes (Caniëls & Gelderman, 2007). Para estos bienes, la estrategia de gestión de aprovisionamientos debe enfocarse en lograr un procesamiento eficiente de las órdenes de compra que conduzcan a la minimización de los costos administrativos (Olsen & Ellram, 1997). Además la gestión de estos materiales debe estar encaminada a la estandarización y consolidación de materiales seleccionando uno o dos proveedores que puedan suministrar un conjunto similar de bienes (por ejemplo, elementos de papelería) y reduciendo productos duplicados ((Olsen & Ellram, 1997) , (Caniëls & Gelderman, 2007)).

Entre las estrategias que se pueden aplicar con este tipo de bienes se encuentra el desarrollo de contratos globales con proveedores que minimicen los procesos y costos de adquisición, la realización de compras sin necesidad de surtir procesos de selección con el uso de un limitado número de proveedores. La elección de estos proveedores debe mantenerse fija por un tiempo y reconsiderar en forma periódica la conveniencia del proveedor (de Boer, Labro, & Morlacchi, 2001).

En cuanto a la gestión de inventarios, para este tipo de bienes no es necesario desarrollar metodologías de pronóstico muy complejas ni que demanden mucho tiempo para su administración; por el contrario se deben utilizar técnicas simples que permitan establecer niveles de inventario adecuados sin que esto implique costos administrativos asociados a la gestión de inventario de los mismos.

#### ***4.4.2 Estrategias para bienes cuello de botella***

Los bienes clasificados como bienes Cuello de Botella, representan por lo general bajos costos y baja criticidad para la operación pero tienen largos tiempos de entrega y altas especificaciones técnicas, es decir, presentan alto riesgo de aprovisionamiento. Para estos bienes, la estrategia de gestión de aprovisionamiento debe enfocarse en asegurar el abastecimiento aunque esto implique mayores inversiones en inventario (Caniëls & Gelderman, 2007). Esto se puede hacer a través de mayores niveles de inventario de seguridad, que garanticen disponibilidad para el cliente interno (Proyectos productivos), por medio de acuerdos de consignación de inventarios o de in-house con los proveedores; o estableciendo contratos que generen compromisos de suministro, que de igual forma aseguren un

volumen al proveedor, garantizando los precios y el suministro. Otra estrategia para este tipo de bienes consiste en la búsqueda de nuevos proveedores que permitan contar un conjunto amplio de opciones o la búsqueda de bienes sustitutos (Olsen & Ellram, 1997), de tal modo que se disminuyan los riesgos asociados al abastecimiento.

En cuanto a la gestión de inventarios, como se mencionó, se deben mantener inventarios de seguridad y se deben desarrollar técnicas de pronóstico un poco más complejas que las estrategias empleadas para los bienes rutinarios y así evitar la ruptura de los mismos.

#### **4.4.3 Estrategias para bienes palanca**

Los bienes clasificados como bienes Palanca, representan por lo general altos costos y alta criticidad para la operación, pero tienen tiempos de entrega (Lead Time) cortos y baja puntuación en la variable especificaciones técnicas, es decir, son de alto impacto en las utilidades de la Corporación. Para estos bienes la estrategia de gestión del aprovisionamiento debe ir enfocada a tratar de reducir al máximo el costo de los bienes adquiridos y aprovechar el poder de compra que en algunos casos se tiene sobre el proveedor, con estrategias como acuerdos de precios que garanticen la estabilidad de los precios durante un periodo de tiempo determinado, contratos a corto plazo en los que la empresa no se comprometa a la compra de cantidades mínimas o procesos de selección con invitación abierta tipo licitación (Caniëls & Gelderman, 2007) de manera que se garantice siempre la opción más beneficiosa para la Corporación. El alto valor de los materiales va de la mano con un alto ahorro potencial, por lo que se justifica la búsqueda y selección de proveedores en forma frecuente ((de Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), (Olsen & Ellram, 1997)).

En cuanto a la gestión de inventarios, se deben desarrollar técnicas de pronóstico un poco más complejas que las de los bienes rutinarios que permitan conocer con el mínimo grado de error, la demanda futura de estos materiales.



#### ***4.4.4 Estrategias para bienes críticos***

Los bienes clasificados como bienes Críticos, representan altos costos, tiempos de entrega más largos, altas especificaciones técnicas y altos niveles de criticidad para la operación. Para estos bienes la estrategia de gestión de aprovisionamientos debe centrarse en el desarrollo de alianzas estratégicas con proveedores y establecer relaciones cercanas con los mismos (Olsen & Ellram, 1997); se debe reducir el riesgo de aprovisionamiento a través de procesos de contratación directa con invitación cerrada.

En cuanto a la gestión de inventarios, se deben acompañar las técnicas de pronósticos con información de expertos del área comercial y de producción, acerca de las demandas de proyectos futuros de carácter productivo (Reparaciones y Construcciones) que se encuentran en etapa de negociación o con los que ya se han firmado contratos de manera que se pueda anticipar estos cambios en la demanda.

#### ***4.4.5 Análisis de proveedores para la aplicación de estrategias***

Para establecer los posibles proveedores con los que la organización puede establecer acuerdos se realizó un análisis de las órdenes de compra, los proveedores y los materiales que fueron adquiridos entre el 2008 y el 2011. Para los bienes, el 80% de las 21232 órdenes de compras realizadas en el periodo de análisis fueron hechas a 108 de los 807 proveedores. Para los servicios el 80% de las 16621 órdenes de compra realizadas fueron hechas a 127 proveedores. En la tabla 39 se muestra que el 77% de las referencias compradas en el periodo de análisis son o pueden ser suministradas por los 108 proveedores que corresponden al Pareto de órdenes de compra. El porcentaje de las compras realizadas al Pareto de proveedores sobre el total de las compras de bienes entre el 2008 y 2011 es del 63%.

**Tabla 39.** Participación de los proveedores en los materiales comprados 2008-2011

AÑO	TOTAL		
	REFERENCIAS DIFERENTES COMPRADAS	REFERENCIAS DIFERENTES COMPRADAS A LOS 108 PROVEEDORES	%
2008	8526	6622	78%
2009	10562	8396	79%
2010	12852	10390	81%
2011	9628	7817	81%
TOTAL	28079	21749	77%
VALOR DE LAS COMPRAS	\$ 3 800 237 667 117	\$ 2 406 113 376 122	63%

Fuente: Elaboración propia.

Se revisaron los bienes que fueron adquiridos por familia y los proveedores que suministraban el mayor número de referencias. El acuerdo que se realice con cada uno de los proveedores depende de la clasificación en la matriz de los materiales que suministra.

Los materiales de la categoría de ABRASIVOS fueron clasificados en las líneas de negocio de Reparaciones y Construcciones como RUTINARIOS. En las bases de datos de órdenes de compra se encontraron 54 proveedores en el periodo de análisis a los que se compraron materiales de esta categoría. De esos 54 proveedores, 27 pertenecen a los 108 proveedores con el 80% de las órdenes de compra. Sin embargo la mayor cantidad de referencias y de órdenes de compra se concentran en unos pocos proveedores. En la tabla 40 se muestra para los proveedores con el 80% de las órdenes de compras, el número total de referencias para esta clase, la cantidad de referencias que suministran los principales proveedores y las coincidencias con el proveedor principal.

**Tabla 40.** Principales proveedores de ABRASIVOS

PROVEEDOR	CANTIDAD DE REFERENCIAS	COINCIDENCIAS CON PROVEEDOR PRINCIPAL	
<b>ABRASIVOS</b>	<b>289</b>		
Abrasivos De La Costa Ltda	235		
Fer Su Herramienta Ltda.	74	6	No coinciden con Abrasivos de la Costa Ltda
Distribuidora Ancla S.A.	134	18	No coinciden con Abrasivos de la Costa Ltda
Soto Doria Cielo De Jesús	2		Ninguno coincide
Villalobos Guerrero Concepción	1		Ninguno coincide

Fuente: Elaboración propia.

De la información anterior podemos analizar que la mayor parte de las referencias de materiales que hacen parte de esta categoría son suministradas por la empresa ABRASIVOS DE LA COSTA LTDA.

Al ser estos bienes rutinarios, se debe buscar la minimización de los costos administrativos asociados a la realización de pedidos a través del desarrollo de un contrato global con este proveedor o con otro que puede suministrar un amplio surtido de materiales.

Los materiales de la categoría de TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS fueron clasificados en general en las líneas de negocio de Reparaciones y Construcciones como PALANCA. En las bases de datos de órdenes de compra se encontraron 106 proveedores en el periodo de análisis a los que se compraron materiales de esta categoría. De esos 106 proveedores, 44 pertenecen a los 108 proveedores con el 80% de las órdenes de compra. Sin embargo la mayor cantidad de referencias y de órdenes de compra se concentran en unos pocos proveedores. En la tabla 41 se muestra para los proveedores con el 80% de las órdenes de compras, el número total de referencias para esta clase, la cantidad de

referencias que suministran los principales proveedores y las coincidencias con el proveedor principal.

**Tabla 41.** Principales proveedores de TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS

PROVEEDOR	CANTIDAD DE REFERENCIAS	COINCIDENCIAS CON PROVEEDOR PRINCIPAL	
<b>TUBERÍA, VÁLVULAS Y ACCESORIOS</b>	<b>2673</b>		
Tuvacol S.A.	923		
Ferretería Española & Cia Ltda.	581	230	No coinciden con Tuvacol S.A.
W & O Supply, Inc	872	796	No coinciden con Tuvacol S.A.
Impofer Importadora De Ferret. Ltda.	185	115	No coinciden con Tuvacol S.A.
Naval Technica Export Gmbh	247		Ninguno Coincide
Casa De La Válvula S.A.	401	115	No coinciden con Tuvacol S.A.
Oster Reinhold Dietrich	189	127	No coinciden con Tuvacol S.A.
Ferretería Reina S.A.	269	68	No coinciden con Tuvacol S.A.

Fuente: Elaboración propia.

De la información anterior podemos analizar que los proveedores con mayor cantidad de referencias son entonces TUVACOL S.A., W & O SUPPLY, INC y FERRETERÍA ESPAÑOLA & CIA LTDA.

Al ser estos bienes palanca, se debe buscar obtener acuerdos beneficios en lo económico para la empresa por el alto impacto económico de estos materiales. Para esto se sugiere la creación de un acuerdo de precios con estos proveedores que garantice la estabilidad de los mismos durante un periodo de tiempo determinado sin el compromiso de comprar unas cantidades mínimas.

El desarrollo de un modelo de gestión de abastecimiento proporciona al área de adquisiciones una visión sobre la importancia de los diferentes materiales para los procesos productivos de reparación y construcción de buques. Con esto se tiene una herramienta que guía sobre las relaciones a establecer con los proveedores de estos bienes en cuanto al tipo de acuerdo que sea más beneficioso tanto para la empresa como para sus proveedores.

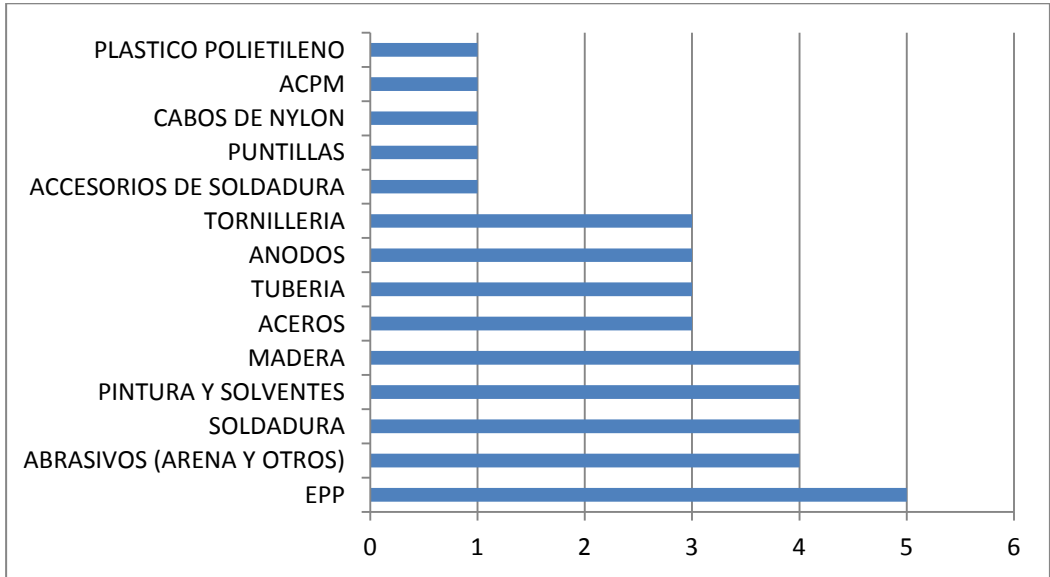
# 5. Sistema de control y gestión de inventarios

Los proyectos de Construcción y Reparación de buques requieren de la adquisición de una gran diversidad de materiales. Muchos de estos materiales son comunes a los diferentes proyectos y por tanto deben mantenerse como parte del Stock de Almacén para garantizar su disponibilidad al cliente interno. Por otro lado, existen materiales que son específicos del proyecto que se está desarrollando y por tanto son solicitados únicamente para el proyecto que lo necesita en lugar de mantener existencias en inventario.

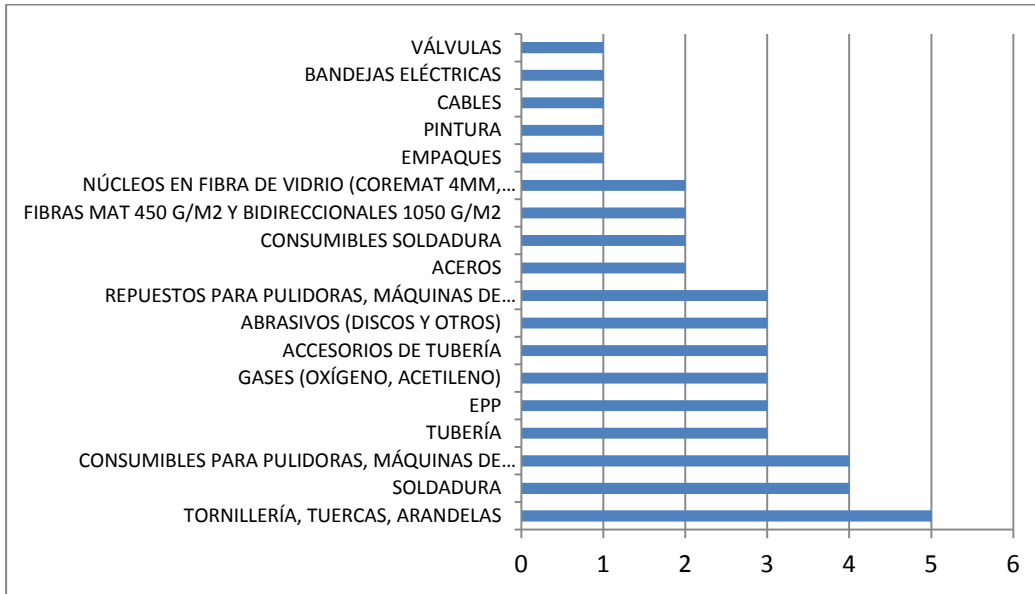
Las áreas de Almacén y Adquisiciones deben desarrollar una estrategia para gestionar los inventarios de estos materiales considerados de Stock, que incluya la selección de los materiales, el establecimiento de niveles de inventario mínimo y máximo y la toma de decisiones a la hora de realizar pedidos y de establecer la cantidad a pedir.

Se realizó una encuesta en la que se solicitó a expertos de las diferentes líneas de negocio de la organización que enumeraran los materiales que consideraban se debían mantener como materiales de stock. En los Gráficos 8 y 9 se muestran los resultados de los materiales que fueron seleccionados por los expertos y del número de veces que cada uno fue mencionado.

**Gráfico 8.** Materiales de Stock Reparaciones



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 9. Materiales de Stock Construcciones**

Fuente: Elaboración Propia.

## 5.1 Materiales de stock

Para establecer los materiales que son necesarios mantener como parte del Stock de Almacén se realizó un análisis de las bases de datos de salida de materiales del almacén, pues se deben establecer como materiales de Stock aquellos que son más demandados por los proyectos de construcción y reparación y para el funcionamiento e inversión de la organización.

Para poder obtener la demanda de materiales para cada línea de negocio se tomaron las salidas de materiales para cada uno de los proyectos desarrollados en las líneas de negocio de reparaciones y construcciones. La fecha en que ocurrió la demanda se toma como la fecha en la que fue realizada la requisición y no la fecha de la salida del material pues es muchos casos la requisición se monta al sistema cuando el material ya se necesita y el proceso de compra y llegada del material toma más tiempo.

El método que se empleó para seleccionar los materiales de stock fue la revisión de la frecuencia de salida de estos materiales. Se seleccionaron como candidatos aquellos materiales con demanda frecuente. Aproximadamente los materiales que cumplen con estos

requisitos representa cerca del 10% del total de materiales solicitados por línea de negocio y entre el 50% y el 75% de total de transacciones de salida entre el 2008 y el 2010.

En total de los 13876 materiales diferentes que fueron solicitados por los proyectos de construcción y reparación se escogen como candidatos a ser materiales de Stock 697 referencias diferentes que representan el 5,03% del total de materiales, el 69% de las salidas y el 23,87% del costo de los materiales solicitados entre el 2008 y el 2010. En la tabla 42 se muestra un resumen de los materiales de Stock seleccionados.

**Tabla 42.** Pre-selección de materiales de Stock

<b>TOTAL DE MATERIALES</b>	<b>13876</b>
CANDIDATOS A SER MATERIAL DE STOCK	697
% DE REPRESENTACION DEL TOTAL DE MATERIALES	5,03
% DE REPRESENTACION DE LAS SALIDAS	69
% DE REPRESENTACION DEL COSTO TOTAL	23,87

Fuente: Construcción propia.

Estos materiales seleccionados fueron depurados al comparar los resultados con un estudio de consumo de materiales que el área de producción del astillero realizó en el 2010. Este estudio sugiere 738 referencias de materiales. El 78,11% de los materiales arrojados por el estudio coinciden con los sugeridos por producción, es decir, 546 materiales.

Se depuraron materiales con demandas distribuidas de forma no uniforme, es decir, materiales que presentan largos periodos sin demanda o que fueron muy solicitados en años anteriores pero que en el último año de estudio no tuvieron ninguna salida de almacén. Finalmente, en Reparaciones una vez realizado todo el proceso de depuración y análisis se sugieren 631 materiales diferentes para mantener como de Stock de Almacén. De este listado, el 81% de los materiales coinciden con los sugeridos por el estudio de producción.

En la tablas 43, 44 y 45 se muestra un resumen de los materiales de Stock definitivos.



**Tabla 43.** Materiales de Stock definitivos

<b>TOTAL DE MATERIALES</b>	<b>13876</b>
MATERIALES PRE-SELECCIONADOS	697
COINCIDEN CON EL ESTUDIO DE PRODUCCION	78,11%
MATERIALES DE STOCK DEFINITIVOS	631
COINCIDEN CON EL ESTUDIO DE PRODUCCION	81%

Fuente: Construcción propia.

**Tabla 44.** Participación de los materiales de Stock en las salidas y los costos

<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>13876</b>
MATERIALES DE STOCK	631
% REPRESENTACION DE LAS SALIDAS	69%
% REPRESENTACION DEL COSTO TOTAL	23,87%

Fuente: Construcción propia.

**Tabla 45.** Materiales de Stock por Familia

<b>FAMILIA O CATEGORÍA DE MATERIALES</b>	<b>NÚMERO DE MATERIALES DE STOCK- MAMONAL</b>
Abrasivos	44
Mangueras y sus accesorios	1
Tubería, Válvulas y Accesorios	53
Accesorios Navales	3
Accesorios para Soldadura	12
Accesorios y Equipos para Refrigeración	5
Elementos Eléctricos y Electrónicos	19
Láminas, Ánodos, Prefilería	34
Tornillo, Tuerca, Arandela	57
Cauchos, Empaques y Sellos	4
Elementos de Aseo y Cocina	27
Maquinaria y Equipos de medición	1
Ferretería y Construcción	61
Herramientas	16
Hilos, Telas y Plásticos	8
Lubricantes, Resinas y Químicos Industriales	27
Maderas	13
Medicamento y Enfermería	2
Papelería	87
Repuestos y Motores	1
Vestuario y Seguridad Industrial	88
Soldaduras y Gases Industriales	25
Pinturas y Recubrimientos	43

Fuente: Construcción propia.

## 5.2 Modelo de gestión de materiales de stock

Para aquellos materiales que son utilizados en forma común y repetitiva por los proyectos de reparación y/o construcción de buques existe una figura conocida como “Stock de Almacén” que hace referencia a aquellos materiales que son administrados por el personal de

almacén en términos de establecer cantidades y frecuencias de pedido, así como niveles de inventarios mínimos y máximos. El modelo permitirá revisar en forma periódica las necesidades futuras de materiales y los niveles de inventario a mantener de acuerdo con el comportamiento de la demanda y de los tiempos de reposición.

Debido a la naturaleza cambiante de la demanda de estos materiales, se debe escoger un modelo de gestión de inventarios de carácter probabilístico que permita identificar las fluctuaciones de la demanda y establecer inventarios de seguridad apropiados para responder a estos cambios. De acuerdo con la revisión de la literatura, los modelos que atacan este tipo de comportamiento son los sistemas probabilísticos de revisión continua y periódica.

Se escoge un modelo de revisión periódica para gestionar los inventarios en el astillero debido a que el sistema de información con que cuenta la organización no permite realizar un seguimiento en tiempo real de los niveles de inventario una vez que sucede una entrada o salida de material en forma automática, sino que esto debe hacerse manualmente revisando cada material en forma individual. Esto hace impráctico y costoso en términos administrativos el establecimiento de una política de revisión continua.

Otra razón para escoger la revisión periódica es que la mayoría de los proveedores suministran más de un material y por esto se puede hacer una revisión consolidada de varios materiales y hacer órdenes de compra conjuntas.

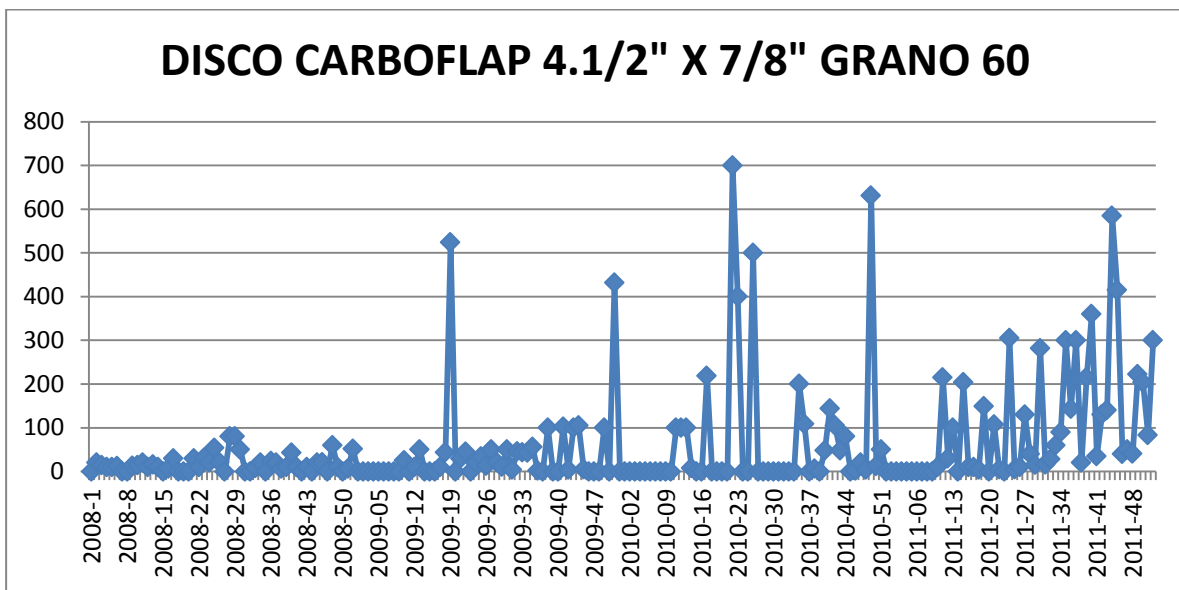
El procedimiento para desarrollar el modelo de gestión para los materiales de stock es el siguiente:

1. Se revisan las transacciones del sistema de información del astillero para estimar los parámetros de la demanda y de los tiempos de reposición. La información necesaria obtenida del sistema de información es la base de datos de transacciones del almacén de donde se obtienen las salidas, la base de datos de requisiciones de donde se obtienen las fechas requeridas de los materiales en producción, la base de datos de órdenes de compra de donde se obtiene el lead time del proveedor para cada orden de compra. Toda esta información se consolida para obtener la fecha en que se produjo la demanda del material ( si existe requisición asociada a la salida la fecha de la demanda se registra como la fecha de requerida en producción, sino existe requisición asociado a la salida se registra como fecha de ocurrencia de la demanda la fecha de salida de almacén)

2. Se pronostica la demanda futura de los materiales con los modelos de promedio móvil, regresión lineal, suavización exponencial simple, suavización exponencial doble y la heurística de croston.

Para ejemplificar el modelo se toma un material de la categoría de abrasivos DISCO CARBOFLAP 4.1/2" X 7/8" GRANO 60 y se obtienen los valores de demanda entre la primera semana del 2008 y la última semana del 2011<sup>19</sup>. En el gráfico 10 se muestra el comportamiento de la demanda

**Gráfico 10.** Demanda 2008-2011



Fuente: Creación propia

Se desarrollan entonces los diversos modelos de pronóstico para estos datos de demanda. Para el caso de la media móvil se trabaja con valores de N (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Para los otros modelos se toman como datos para el arranque del pronóstico los datos de demanda de las semanas de los primeros tres años (2008-2010).

6. Se calculan los errores de los modelos de pronóstico para los datos de demanda de las semanas del año 2011.

$$\text{Error del pronóstico } e_t = x_t - \hat{x}_t \tag{15}$$

Donde:

$e_t$  = Error del pronóstico de demanda para el periodo t,

<sup>19</sup> Anexo I. Modelo de gestión de inventarios

$x_t$  = Valor real u observación de la demanda en el periodo t,

$\hat{x}_t$  = Pronóstico de demanda para el periodo t, calculado en un periodo anterior.

La MAD se define como el promedio de los errores absolutos sobre un número determinado de períodos n:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n} \quad (16)$$

El ECM se define como el promedio de los errores cuadráticos sobre un número determinado de períodos, así:

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n} \quad (17)$$

En la tabla 46 se muestran los errores de pronóstico para los diferentes modelos utilizados para estimar la demanda futura.

**Tabla 46.** Errores de los modelos de pronóstico para el DISCO CARBOFLAP 4.1/2" X 7/8" GRANO 60

MODELO	MAD	ECM
PROMEDIO MOVIL N=2	71,62	18.552,15
PROMEDIO MOVIL N=3	70,60	16.490,97
PROMEDIO MOVIL N=4	69,33	15.002,64
PROMEDIO MOVIL N=5	68,17	14.095,78
<b>PROMEDIO MOVIL N=6</b>	<b>67,80</b>	<b>13.986,28</b>
PROMEDIO MOVIL N=7	69,08	14.013,50
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE	88,20	15.141,78
REGRESIÓN LINEAL	98,90	20.902,92
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE	95,35	15.145,87

CROSTON	97,48	23.017,15
---------	-------	-----------

Fuente: Elaboración propia

El modelo que mejor se ajusta al comportamiento de la demanda de este material es el promedio móvil para N=6.

7. Se escoge del sistema de gestión de inventario de acuerdo con el comportamiento de la demanda y de los tiempos de reposición. Para los materiales que se necesitan en los proyectos de reparación y construcción, la demanda tiene un comportamiento probabilístico, al igual que los tiempos de reposición. Sin embargo para simplificar los cálculos, se asumen los tiempos de reposición constantes e iguales al valor promedio de los tiempos de entrega por parte del proveedor.

Se establece el sistema (R, s, S) como el apropiado para la gestión de los materiales de stock en el astillero.

8. Se calculan los parámetros para la implementación del sistema de gestión de inventarios. Estos parámetros son el periodo de revisión R, el punto de reorden s, y el inventario máximo S.

El periodo de revisión está preestablecido en 1 semana, razón por la cual se obtuvieron los datos de demanda en periodos semanales. Para establecer el stock de seguridad es necesario contar con la desviación estándar de los errores del pronóstico,  $\sigma_1$  que se estima con base en el sistema de pronósticos que utiliza un período básico (1 día, 1 semana, 1 mes, etc.). La desviación estándar para un período básico del pronóstico se transforma a una desviación estándar sobre el tiempo de reposición + el intervalo de revisión del inventario R, mediante la aplicación de ecuaciones empíricas (Vidal, 2009). La desviación de los errores de pronóstico se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = \sqrt{ECM} \tag{18}$$

En el sistema de control periódico (R, S) se revisa el nivel de inventario cada R períodos de tiempo y se ordena una cantidad igual a la diferencia entre un inventario máximo, S, y el inventario efectivo en el momento de la revisión. El sistema periódico facilita la coordinación del control de varios ítems, aunque genera inventarios de seguridad

ligeramente superiores al sistema continuo, ya que el primero debe responder a las fluctuaciones de demanda durante el tiempo de reposición de los proveedores o del sistema de producción,  $L$ , más el tiempo entre revisiones,  $R$  (Vidal, 2009).

Para el caso del DISCO CARBOFLAP 4.1/2" X 7/8" GRANO 60 la desviación estándar de los errores de pronóstico:

$$\sigma_1 = \sqrt{ECM} = \sqrt{13986,28} = 118,26$$

El inventario de seguridad basado en el nivel de servicio al cliente considerando la variabilidad de la demanda (o de los errores del pronóstico) de acuerdo con el sistema de control escogido sería:

$$\text{Inventario de seguridad } IS = k\hat{\sigma}_{R+L} \text{ Para un sistema periódico } (R, S) \quad (20)$$

Donde:

$k$  = Factor de seguridad dependiente del nivel de servicio deseado

$\hat{\sigma}_{R+L}$  = Desviación estándar de los errores de pronóstico de la demanda total sobre un periodo de duración  $R+L$ , o sobre el tiempo de reposición más el intervalo de revisión.

$$\hat{\sigma}_{R+L} = \hat{\sigma}_1\sqrt{R+L}, \text{ para un sistema de control continuo } (s, Q) \quad (21)$$

Para el caso del ejemplo y fijando el nivel de servicio en un 90% como la probabilidad de no tener agotados en un ciclo de reposición. Al normalizar ese valor se obtiene el valor de  $k$  que en este caso es de 1,29. El tiempo de entrega para este material de acuerdo con datos del sistema de información es 5 días = 0,7142 semanas.

El inventario de seguridad es entonces:

$$\begin{aligned} \text{Inventario de seguridad } IS &= k\hat{\sigma}_{R+L} = k\hat{\sigma}_1\sqrt{R+L} = 1,29 * 118,26 * \sqrt{1 + 0,7142} \\ &= 199,75 \text{ und} \end{aligned}$$

Si el promedio de demanda es  $d$ , la demanda máxima durante el tiempo de reposición no será superior a  $[d \times (R \times L)] + k\hat{\sigma}_1\sqrt{R+L}$  durante el tiempo de reposición + el intervalo de revisión.

Entonces el nivel de inventario máximo  $S$  es para el ejemplo en donde la demanda promedio es 57,48 und/semana:

$$S = \hat{x}_{R+L} + k\hat{\sigma}_{R+L} = [d \times (R \times L)] + k\hat{\sigma}_1 \sqrt{R+L} = 57,48 * (1 + 0,714) + 199,75 = 298,27 \text{ und}$$

Finalmente si para el periodo de análisis el inventario neto cae por debajo de 199,75 unidades se debe una cantidad tal que el inventario suba al nivel máximo 298,27 unidades.

La identificación de los materiales utilizados frecuentemente por los diversos proyectos de construcción y reparación de buques y el posterior establecimiento de modelos de pronóstico y de gestión de inventarios se constituye en un apoyo para la División de Almacén y de Adquisiciones al momento de gestionar las compras y el almacenamiento de los mismos.

Para los niveles de servicio establecidos por la organización se permite atender al cliente interno de manera ágil y se garantizan unos niveles de inventario mínimos que permitan responder efectivamente a las fluctuaciones de la demanda. De igual forma se establece una herramienta de decisiones útil para determinar la necesidad de realizar nuevos pedidos de material y la cantidad de los mismos al revisar en forma periódica los niveles de inventario de los materiales de stock.

Al facilitar la toma de decisiones para estos materiales que representan un alto porcentaje de las compras y de las salidas de almacén, se disminuye la carga de trabajo para los analistas de adquisiciones, pues no deben realizar la compras cada vez que se reciba un requerimiento sino que se mantienen niveles de inventario en el almacén que permitan satisfacer las necesidades de los proyectos con inventario a la mano.

Al establecer un modelo de revisión periódica se facilita la consolidación de compras al revisar los diferentes materiales que ofrece un mismo proveedor al tiempo y así realizar un solo proceso de compra que conduce a una reducción de los costos de comprar.



## 6. Conclusiones y recomendaciones

Con el desarrollo de este trabajo se diseñó un modelo de gestión de abastecimiento e inventarios para un astillero que inició con una aproximación al estado del arte en materia de gestión de la cadena de suministro, modelos de clasificación de materiales, de gestión de compras y de gestión de inventarios. A partir de esta revisión bibliográfica y de la aproximación a los procesos logísticos de un astillero en Colombia se desarrollaron los modelos, herramientas y estrategias que permitirán a la organización gestionar de forma efectiva el flujo de materiales a la vez que se reducen los tiempos y costos y se mejora el nivel de servicio al cliente.

La caracterización de los procesos de abastecimiento y almacenamiento del astillero en términos de infraestructura, procedimientos, recurso humano y gestión permitió evidenciar las oportunidades de mejora en el área logística. Entre los hallazgos de esta etapa se tiene la falta de una política clara para las compras que vaya de la mano con estrategias diferenciadas para los materiales de acuerdo con su importancia para la organización. Aunque la empresa cuenta con un manual de contratación y una clasificación de materiales y proveedores, las políticas respecto a la generación de acuerdos con proveedores son aún incipientes, lo que se evidencia en el gran porcentaje de compras que surten procesos de selección cada vez que los materiales son solicitados. Este repercute en los altos tiempos de respuesta al cliente interno y en el no cumplimiento de los tiempos de entrega por parte de los proveedores ante la ausencia de una relación cercana y de colaboración mutua. Otro aspecto importante que se evidenció en el área de adquisiciones es la falta de participación del personal de compras en las etapas tempranas de planeación de los proyectos de construcción y reparación de buques, lo que los obliga a reaccionar en forma reactiva pues las necesidades de materiales se conocen cuando el área productiva ya los necesita y no da espacio a la posibilidad de negociar mejores condiciones de entrega y precios con proveedores.

De igual forma, ante la inexistencia de una metodología de gestión de inventarios, no se tienen establecidos inventarios de seguridad para los materiales que así lo requieran y por tanto se presentan constantes agotamientos y retrasos en los proyectos. Debido a la naturaleza única de cada proyecto de reparación y construcción es imposible contar con existencias de todos los materiales necesarios para desarrollar las actividades productivas, y

por tanto la gestión y políticas en el almacén deben estar encaminadas a asegurar el correcto almacenamiento y custodia de los materiales particulares de cada proyecto, así como de garantizar la existencia de inventarios de seguridad de aquellos materiales que son utilizados en forma común por la mayoría de los proyectos.

La caracterización de los procesos evidenció la pertinencia del trabajo pues al establecer políticas y modelos para la gestión del abastecimiento y el almacenamiento, se contará con una directriz para atacar el problema central del astillero: el bajo nivel de servicio al cliente y los altos tiempos de entrega que repercuten en el incremento de los costos de los proyectos y la disminución de la rentabilidad de la empresa por la ineficiente gestión de la logística.

Para poder dimensionar el real impacto que la estrategia planteada y la operación de la cadena de abastecimiento genera sobre la rentabilidad de la empresa se estimaron los parámetros de costo asociados a la operación logística del astillero. Con estos es posible cuantificar los ahorros que se generen producto de la implementación de los modelos de gestión de abastecimiento e inventarios. Cuando la empresa conoce los costos de realizar compras y los costos de almacenamiento, teniendo en cuenta las capacidades de los almacenes, puede decidir si es mejor realizar compras consolidadas en periodos de tiempo más largos o realizar pedidos pequeños pero más seguidos. Con esto, la organización cuenta con una línea base, que le permitirá comparar en el futuro su desempeño con los valores establecidos y de esta manera evaluar la efectividad de la implementación de las nuevas políticas y estrategias.

El desarrollo de un modelo de gestión de abastecimiento a través de la clasificación de los materiales que se requieren para los procesos de reparación y construcción de buques, proporciona al área de adquisiciones una visión sobre la importancia de los diferentes materiales y se tiene una herramienta que guía sobre las relaciones a establecer con los proveedores de estos bienes en cuanto al tipo de acuerdo que sea más beneficioso tanto para la empresa como para sus proveedores. Cada categoría de materiales va de la mano con un conjunto de estrategias consideradas adecuadas para desarrollar acuerdos con los proveedores de estos bienes. De esta manera, la organización mejora sus procesos de compra optimizando sus recursos y disminuyendo tiempos de respuesta y costos. La clasificación de materiales se realizó por separado para las dos grandes líneas de negocio del astillero debido a las diferencias notables que existen en la importancia de las variables para cada una. Para cada categoría de materiales, se tienen establecidas las posibles estrategias de relación con los proveedores encaminadas a garantizar el abastecimiento aún

en las condiciones de incertidumbre y variabilidad de los proyectos, todo esto a un costo competitivo y en el menor tiempo posible. La caracterización del abastecimiento y el modelo de gestión permiten además identificar las falencias existentes en la generación de órdenes de compra y está encaminado a garantizar el menor desgaste administrativo y los menores costos de generación de órdenes a través de la identificación y selección de proveedores claves que puedan suministrar un amplio portafolio de bienes. Todo esto redundará en la disponibilidad de los materiales en el momento oportuno por la generación de relaciones de cooperación cercana con proveedores que garanticen relaciones gana-gana para las partes.

La propuesta del sistema de gestión de inventarios en la empresa a través de un modelo de revisión periódica que facilite la consolidación de compras permite, para los niveles de servicio establecidos por la organización, atender al cliente interno de manera ágil y garantiza unos niveles de inventario mínimos que permitan responder efectivamente a las fluctuaciones de la demanda. De igual forma se establece una herramienta de decisiones útil para determinar la necesidad de realizar nuevos pedidos de material y la cantidad de los mismos al revisar en forma periódica los niveles de inventario de los materiales de stock. Este modelo permite reducir los costos de pedir para los materiales de stock pues revisa en forma simultánea las existencias de diferentes materiales que son comprados al mismo proveedor y de esta manera se realiza un solo pedido de aquellos bienes cuyas existencias hayan caído por debajo de los inventarios de seguridad.

La implementación del trabajo realizado debe partir de la revisión de los acuerdos actuales que se tienen con proveedores y la selección de proveedores potenciales para realizar acercamiento que conduzcan a generar relaciones de cooperación que sean beneficiosas para ambas partes. Para esto se debe contar con una base de proveedores amplia y actualizada. De igual forma la empresa, a partir de la información de sus bases de datos, debe asignar a una persona encargada de implementar el modelo de gestión de inventarios realizando el proceso de revisión de niveles de stock y determinación de necesidad y cantidad de pedido para los diferentes materiales. Es importante establecer que el modelo de gestión de abastecimiento e inventarios debe ser revisado y actualizado cada vez que la organización considere que las condiciones que se establecieron como base del modelo hayan cambiado.

A partir de la investigación realizada se evidencian posibilidades de desarrollo de mejoras en la operación de los almacenes a través de un sistema de gestión y de información que

permita el fácil manejo y almacenamiento de los materiales. Este sistema debe permitir la trazabilidad de los materiales desde que son comprados hasta que son entregados a los proyectos y debe contar con un sistema de identificación de los mismos para su fácil ubicación en las estanterías o en los diversos espacios de almacenamiento. Otra de las oportunidades de mejora que surgen a partir de esta investigación es la necesidad de integrar las áreas encargados de la logística en el astillero con las áreas productivas a través de un sistema de planeación de recursos y materiales que permita a los encargados de las compras planear de forma efectiva las necesidades futuras de materiales y de esta manera establecer acuerdos de compra que sean lo más beneficiosos para la organización en cuanto a tiempos de entrega, costos y garantías.

## **Anexos**

**Anexo A. Estimación del Costo de Mantener.**

**Anexo B. Estimación del costo de ordenar**

**Anexo C. Encuesta de Selección de variables de evaluación de bienes.**

**Anexo D. Encuesta de Ponderación de variables y calificación de bienes.**

**Anexo E. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados.**

**Anexo F. Programación AHP difuso y clasificación - Reparaciones**

**Anexo G. Tabulación de encuestas, vector prioridad y puntajes normalizados – Construcciones**

**Anexo H. Programación AHP difuso y clasificación – Construcciones**

**Anexo I. Modelo de gestión de inventarios**

# Bibliografía

Arshinder, Kanda, A., & Deshmukh, S. (2008). Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *Int. J. Production Economics*.

Axsäter, S. (2000). *Inventory Control*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Bhattacharya, A. y. (2007). *Distance-based consensus method for ABC analysis* (Vol. 45). International Journal of Production Research.

Büyüközkan, G., Kahraman, C., & Da, R. (2004). *A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection* (Vol. 33). International Journal of General Systems.

Cakir, O., & Canbolat, M. (2008). *A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology* (Vol. 35). Expert Systems with Applications.

Caniëls, M. C., & Gelderman, C. J. (2007). Power and interdependence in buyer supplier relationships: A purchasing portfolio approach. *Industrial Marketing Management* , 36 (2), 219-229.

Castro Pineda, J. G. (25 de Abril de 2010). La industria naval en Colombia se afianza. *Diario el Universal de Cartagena* .

Cebi, F., Kahraman, C., & Bolat, B. (2010). *Multiple ABC classification model using fuzzy AHP*. 40th International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE).

Chang, D. (1996). *Application of the extent analysis method on fuzzy AHP* (Vol. 95). European Journal of Operational Research.

Chen, J.-X. (2011). Peer-estimation for multiple criteria ABC inventory classification. *Computers and Operations Research* , 38 (12), 1784-1791.

Chu, C., Liang, G., & Liao, C. (2008). *Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification* (Vol. 55). Computers & Industrial Engineering.

Clark, D. L., Howell, D. M., & Wilson, C. E. (2007). *Improving Shipbuilding Practices Project: Efficiency Through Rework Reduction*. Naval Postgraduate School.

Cohen, M., & Ernst, R. (1988). *Multi-item classification and generic inventory stock control policies* (Vol. 29). *Production and Inventory Management Journal*.

COTECMAR. (6 de Mayo de 2010). *Cotecmar*. Obtenido de [www.cotecmar.com](http://www.cotecmar.com)

Croston, J. D. (1972). *Forecasting and stock control for intermittent demands* (Vol. 23). *Operational Research Quarterly*.

de Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing* , 7 (2), 75-89.

Dickie, H. (1951). ABC inventory analysis shoots for dollars not pennies. *Factory Management and Maintenance* , 109, 92-94.

Dwivedi, S. N., & Crisp, J. (2003). *Current trends in material management in the shipbuilding industry* (Vol. 16). *International Journal of Computed Applications in Technology*.

Elliot-Shircore, T., & Steele, P. (Diciembre de 1985). Procurement Positioning Overview. *Purchasing and Supply Management* , 23/26.

Erlenkotter, D. (1990). *Ford Whitman Harris and the Economic Order Quantity Model* (Vol. 38). *Operations Research*.

Fildes, R. P., Lawrence, G. M., & Nikolopoulos, K. (2009). *Effective forecasting and judgmental adjustments: an empirical evaluation and strategies for improvement in supply-chain planning* (Vol. 25). *International Journal of Forecasting*.

Fleisher, M., Kohler, R., Lamb, T., & Tupper, N. (1999). *Shipbuilding Supply Chain Integration Project*. Environmental Research Institute of Michigan.

Flores, B., & Whybark, D. (1987). *Implementing multiple criteria ABC analysis* (Vol. 7). *Journal of Operations Management*.

Flores, B., & Whybark, D. (1986). *Multiple criteria ABC analysis* (Vol. 6). *International Journal of Operations and Production Management*.

Flores, B., Olson, D., & Dorai, V. (1992). *Management of multi-criteria inventory classification* (Vol. 16). *Mathematical and Computer Modeling*.

Fogarty, D. W., Blackstone, J. H., & Hoffmann, T. R. (1994). *Administración de la producción e inventarios* (Segunda edición ed.). México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., CECSA.

Gelderman, C. (2003). *A portfolio approach to the development of differentiated purchasing strategies*. Eindhoven: Universiteits Drukkerij/Technische Universiteit Eindhoven.

Gelderman, C. (2002). Handling the Main Issues and Initial Problems, Adopting a Purchasing Portfolio Approach. *Danish Purchasing & Logistics Forum* , 39 (12), 32-38.

Gosling, J., & Naim, M. M. (2009). *Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda* (Vol. 122). International Journal of Production Economics.

Guvenir, H., & Erel, E. (1998). *Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm* (Vol. 105). European Journal of Operational Research.

Harris, F. W. (1913). *How many parts to make at once* (Vol. 10). Factory, The Magazin of Management.

Harris, F. W. (1990). *How many parts to make at once* (Vol. 38). Factory, Operations Research.

Hoekstra, S., & Romme, J. E. (1992). *Integral Logistics Structures: Developing Customer-oriented Goods Flow*. Londres: McGraw-Hill.

Hugos, M. (2003). *Essentials of supply chain management*. New Yersey: John Wiley & Sons.

Kraljic, P. (1983). *Purchasing must become supply management* (Vol. 61). Harvard Business Review.

Lawrence, M., Goodwin, P., O'Connor, M., & Önkal, D. (2006). *Judgmental forecasting: A review of progress over the last 25years* (Vol. 22 ). International Journal of Forecasting.

Lee, W. Y., Goodwin, P., Fildes, R., Nikolopoulos, K., & Lawrence, M. (2007). *Providing support for the use of analogies in demand forecasting tasks* (Vol. 23). International Journal of Forecasting.

Lilliecreutz, J., & Ydreskog, L. (Noviembre de 1999). Supplier Classification as an Enabler for a Differentiated Purchasing Strategy. *Global Purchasing & Supply Chain Management* , 66-74.



- Montgomery, D. C., Johnson, L. A., & Gardiner, J. S. (1990). *Forecasting & Time Series Analysis* (Segunda edición ed.). New York: McGraw-Hill.
- Naylor, J. B., Mohamed, M. N., & Berry, D. (1999). *Leagility: Integrating the Lean and Agile Manufacturing Paradigms in the Total Supply Chain* (Vol. 62). International Journal of Production Economics.
- Nenes, G., Panagiotidou, S., & Tagaras, G. (2010). Inventory Management of multiple items with irregular demand: A case study. *European Journal of Operational Research* , 205, 313-324.
- Ng, W. (2007). *A simple classifier for multiple criteria ABC analysis* (Vol. 177). European Journal of Operational Research.
- Olsen, R. F., & Ellram, L. M. (1997). A portfolio approach to supplier relationships. *Industrial Marketing Management* , 26 (2), 101-113.
- Olsen, R., & Ellram, L. (1997). A Portfolio Approach to Supplier Relationships. *Industrial Marketing Management* , 26 (2), 101-113.
- Parada, O. (2009). *Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios* (Vol. 22). Cuadernos de Administración.
- Partovi, F., & Anandarajan, M. (2002). *Classifying inventory using an artificial neural network approach* (Vol. 41). Computer and Industrial Engineering.
- Partovi, F., & Anandarajan, M. (2002). *Classifying inventory using an artificial neural network approach* (Vol. 41). Computer and Industrial Engineering.
- Partovi, F., & Burton, J. (1993). *Using the analytic hierarchy process for ABC analysis* (Vol. 13). International Journal of Production and Operations Management.
- Partovi, F., & Hopton, W. (1994). *The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems* (Vol. 35). Production and Inventory Management Journal.
- Puente, J., De la Fuente, P., & Priore, R. (2002). *ABC classification with uncertain data: a fuzzy model vs. a probabilistic model* (Vol. 16). Applied Artificial Intelligence.
- Ramanathan, R. (2006). *ABC inventory classification with multiple criteria weighted linear optimization* (Vol. 33). Computers & Operations Research.

Rezaei, J. (2007). *A fuzzy model for multi-criteria inventory classification*. Netherlands: Proceedings of the 6th international conference on analysis of manufacturing systems.

Rezaei, J., & Dowlatshahi, S. (2010). *A rule-based multi-criteria approach to inventory classification* (Vol. 48). International Journal of Production Research.

Saaty, T. (1982). *Decision-making for leaders; the analytical hierarchy process for decisions in a complex world*. Belmont, CA.

Saaty, T. (1980). *Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process*. New York: Mc-Graw Hill.

Sarder, B., Ali, A., Ferreira, S., & Rahman, M. A. (2010). *Managing Material Flow at the US Shipbuilding Industry*. Dhaka, Bangladesh: Proceedings of the 2010 International Conferencia of Industrial Engineering and Operation Management.

Ship2yard. (7 de Mayo de 2010). *ship2yard*. Obtenido de [www.ship2yard.com](http://www.ship2yard.com)

Silver, E. A. (1981). *Operations Research in Inventory Management: A Review and Critique* (Vol. 29). Operations Research.

Silver, E. A., & Meal, H. C. (1973). *A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment* (Vol. 14). Production and Inventory Management Journal.

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* (Tercera edición ed.). John Wiley & Sons.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies* (Tercera edición ed.). New York: McGraw-Hill.

Steele, P., & Court, B. (1996). *Profitable purchasing strategies: a manager's guide for improving organizational competitiveness through the skills of purchasing*. London: McGraw-Hill.

Stock, J. R., & Lambert, D. M. (2001). *Strategic Logistics Management* (Cuarta edición ed.). Irwin, Boston: McGraw-Hill.

Supersociedades. (5 de Mayo de 2010). *SIREM*. Obtenido de [www.supersociedades.gov.co](http://www.supersociedades.gov.co)

Syson, R. (1992). *Improve Purchase Performance*. London: Pitman Publishing.

Turnbull, P. (1990). A Review of Portfolio Planning Models for Industrial Marketing and Purchasing Management. *European Journal of Marketing* , 24, 7-22.

Vencheh, A. (2010). *An improvement to multiple criteria ABC inventory classification* (Vol. 201). *European Journal of Operational Research*.

Vidal, C. (2006). *Introducción a la gestión de inventarios*. Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística.

Vidal, C. J. (2009). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Universidad del Valle.

Vidal, C., & Gutierrez, V. (2008). Inventory management models in supply chains: A literature review. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia* .

Vollmann, T. B. (1997). *Manufacturing, planning and control systems* (4th edition ed.). Boston: McGraw-Hill.

Wagner, H., & Whitin, T. M. (1958). *Dynamic Version of the Economic Lot Size Model* (Vol. 5). *Management Science*.

Zadeh, L. (1983). *The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems* (Vol. 11). *Fuzzy Sets and Systems*.

Zeng, J., & Smith, N. (2007). *Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment* (Vol. 25). *International Journal of Project Management*.

Zhou, P., & Fan, L. (2007). *A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization* (Vol. 182). *European Journal of Operational Research*.