

**MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE REPUESTOS PARA EL
MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA GERENCIA REGIONAL DEL
MAGDALENA MEDIO ECOPETROL S.A. – CORPORACIÓN CIMA**

LINA MARCELA LEÓN GALEANO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2013**

**MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE REPUESTOS PARA EL
MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA GERENCIA REGIONAL DEL
MAGDALENA MEDIO ECOPETROL S.A. – CORPORACIÓN CIMA**

LINA MARCELA LEÓN GALEANO

Proyecto de Grado para Optar por el Título de Ingeniera Industrial

Director

MA. JAVIER EDUARDO ARIAS OSORIO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar sinceramente mis agradecimientos a:

La dirección de la Corporación CIMA que en compañía del Ing. Luis Carlos y Martin Mosquera, que con su confianza y compromiso apoyaron la realización de este proyecto.

La familia CIMA que representados por Eliana Gomez y Guillermo Castro estuvieron orientando las actividades que se realizaron en el cumplimiento de este proyecto.

A los ingenieros Miguel Humberto Barros, Diana Maria Nuñez y Aleyda Gonzales por ser parte activa en las revisiones de Ecopetrol S.A.

Javier Arias Osorio, Director de proyecto, quien por su experiencia y conocimientos guió la realización de este sueño.

DEDICATORIA

*A Dios,
Por ser mi fortaleza, guía en todos los caminos
De mi vida, que con su compañía me permite
Alcanzar mis objetivos.*

*A mi madre,
Luz mary, quien con su dedicación y sacrificio
Lucho por salir adelante y ofrecernos siempre lo
Mejor.*

*A mi hermana y mi sobrina,
Leidy y Amy, Que son la muestra
de la dulzura y amor.*

*A mi padrastro,
German, por su colaboración y apoyo
En los momentos difíciles.*

*A mi novio,
Gabriel, por su apoyo, dedicación y comprensión
En todo momento.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	21
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	22
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	22
1.2 TAMAÑO	24
1.3 PLAN ESTRATÉGICO	26
1.3.1 Misión.	26
1.3.2 Visión al 2020 del grupo empresarial.	26
1.3.3 Grupo empresarial.	26
1.3.4 Objetivos.	28
1.3.5 Organigrama	30
1.3.6 Cultura organizacional.	30
1.4 CLIENTES	31
1.5 PRODUCTOS	33
1.6 PROCESOS	34
1.6.1 Procesos nivel 0. Procesos de direccionamiento	34
1.6.2 Procesos nivel 1. Exploración y producción	35
1.6.3 Procesos nivel 2. Operación y entrega	36
1.6.4 Procesos nivel 3. Mantenimiento	37
1.7 TECNOLOGÍA	38
1.7.1 Sistema de Información Volumétrica (SIV).	38
1.7.2 SAP.	38
1.7.3 CMMS ELLIPSE.	39
1.7.4 RCM ++.	39
1.8 ESTRATEGIA DE DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	40

1.8.1 Consultoria RCM.	41
1.8.2. Descripción de la empresa contratada.	42
1.8.2.1 Misión.	43
1.8.2.2 Visión.	44
1.8.2.3 Estructura organizacional Corporacion CIMA	44
1.8.2.4 Mapa de procesos.	45
1.8.2.5 Servicios ofrecidos.	45
2. MARCO TEÓRICO	47
2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	47
2.1.1 Contextualización de los procesos de la consultoría	50
2.1.1.1 Identificación de la falla funcional.	52
2.1.1.2 Análisis de criticidad.	54
2.1.1.3 Selección de las tareas de mantenimiento.	56
2.2 SISTEMAS DE INVENTARIOS	58
2.2.1 Inventario de repuestos.	58
2.2.2 Análisis ABC de inventarios.	59
2.3 CLASIFICACIÓN DE REPUESTOS POR CRITICIDAD	60
2.3.1 Clasificación de los Repuestos según criticidad	63
2.3.1.1 Evaluación matriz de valoración de riesgos-RAM.	63
2.3.1.2 Matriz de gerencia de suministro.	66
2.3.1.3 Matriz de posición del abastecimiento.	67
2.3.2 Análisis de costos.	68
2.3.3 Modelo de política de inventarios.	69
2.3.4 Nivel de servicio e inventario de seguridad	70
2.3.5 Modelos de reaprovisionamiento	71
2.4 OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS	72
3. DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRM	77

4. ANÁLISIS ABC DE INVENTARIOS	82
4.1 ANÁLISIS POR BODEGA	82
4.1.1 Análisis bodega Centro 01GE	82
4.1.2 Análisis bodega Casabe 0151	84
4.1.3 Analisis bodega Cantagallo 0152	86
4.2 ANÁLISIS TOTAL DEL INVENTARIO	87
5. CARACTERIZACIÓN DE LOS REPUESTOS	90
5.1 RESULTADOS OBTENIDOS BODEGA EL CENTRO 01GE	91
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS BODEGA 0151	92
5.3 RESULTADOS OBTENIDOS BODEGA 0152	93
5.4 ANÁLISIS TOTAL DEL INVENTARIO	94
6. ALGORITMOS DE REPOSICIÓN DE INVENTARIOS	95
6.1 ANALISIS DE COSTOS	95
6.1.1 Costo de hacer pedidos.	95
6.1.2 Costo de mantener inventario.	96
6.2 DEFINICIÓN DE POLÍTICAS DE INVENTARIOS	97
6.2.1 Políticas de inventarios bodega el Centro 01GE.	97
6.2.2 Políticas de inventarios bodega Casabe 0151.	98
6.2.3 Políticas de inventarios bodega Cantagallo 0152.	99
6.3 EVALUACIÓN DE ALGORITMOS DE REPOSICIÓN EN CMMS ELLIPSE	100
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ecopetrol en Colombia y el Mundo	25
Figura 2. Sociedades Subordinadas Grupo Empresarial Ecopetrol S.A.	27
Figura 3. Organización Ecopetrol S.A.	30
Figura 4. Clientes	32
Figura 5. Productos.	33
Figura 6. Procesos de Direccionamiento.	34
Figura 7. Procesos de Exploración y Producción	35
Figura 8. Procesos de Operación y Entrega.	36
Figura 9. Procesos de Mantenimiento.	37
Figura 10. Estructura Organizacional Corporación CIMA.	44
Figura 11. Mapa de Proceso Sistema Integrado de Gestión	45
Figura 12. Etapas del Proceso RCM.	48
Figura 13. Implementación del RCM en las plantas.	50
Figura 14. Visión General Análisis RCM	52
Figura 15. Matriz de Valoración de Riesgo HSE.	65
Figura 16. Matriz de Gestión de Suministro.	67
Figura 17. Matriz de Posición del Abastecimiento.	68
Figura 18. Construyendo un nivel de inventarios de Repuestos óptimo.	76
Figura 19. Diagrama Causa 'Efecto Sobrecostos en las Bodegas.	80
Figura 20. Modulo Calcular Proyecciones MSO 179	101
Figura 21. Modelos para el Algoritmo.	102

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las Empresas	25
Tabla 2. Clasificación de los Repuestos según criticidad	62
Tabla 3. Valores de Bodegas GRM	77
Tabla 4 Costos Reales del Proceso de Compras.	96
Tabla 5. Clasificación de Tipo de Inventario para Mantenimiento.	97
Tabla 6. Costos Políticas de Inventarios 01GE	98
Tabla 7. Clasificación de Tipo de Inventario para Mantenimiento	98
Tabla 8. Costos Políticas de Inventarios 0151	98
Tabla 9. Costos Políticas de Inventarios 0152	99
Tabla 10. Cuadro comparativo Cifras actúales Vs Costos Políticas Propuestas	100

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfico 1. Valores de las Bodegas GRM	78
Gráfico 2. Análisis ABC Repuestos 01GE.	84
Gráfico 3. Análisis ABC Repuestos Bodega 0151.	85
Gráfico 4. Análisis ABC Repuestos Bodega 0152.	86
Gráfico 5. Análisis ABC Inventarios Superintendencias SOM y SOR.	89
Gráfico 6. Clasificación según Criticidad	92
Gráfico 7. Clasificación según criticidad Bodega 0151.	93
Gráfico 8. Clasificación según criticidad Bodega 0152.	93
Gráfico 9. Clasificación General de Repuestos.	94

ABREVIATURAS

CIMA: Corporación para la Investigación y Desarrollo en Ciencia de los Materiales.

ETBF: Evaluación del tiempo Estimado Entre Fallas sin mantenimiento.

FFA: Análisis de Falla Funcional.

FFMEA: Análisis del Modo y Efecto de Falla

GRM: Gerencia Regional Magdalena Medio.

RAM: Risk Analysis Matrix- Matriz de análisis de Riesgo.

RCM: Reliability Centred Maintenance- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

ROP: Punto de Reorden.

ROQ: Cantidad a Pedir.

SJ: Standard Job. Estándar de trabajo sistema Ellipse.

SMMLV: Salario Mínimo Legal Vigente

SOM: Superintendencia de Operaciones de Mares.

SOR: Superintendencia de operaciones de Rio.

GLOSARIO

APLS: (Listado de Partes Aplicadas) Listado de partes codificadas en el catálogo de materiales asociados a un equipo, componente o acción de mantenimiento.

DATA SHEET: Hoja de Vida de los Equipos. Se relaciona información fundamental para la caracterización del equipo.

ELLIPSE: Software utilizado para la administración de activos físicos. Herramienta informática para manejar los datos referentes a los equipos (activos productivos) en cuanto a generalidades, trabajos de mantenimiento, costos, programas de trabajo, materiales, compras, y otros procesos de soporte a la cadena productiva.

GESTIÓN DE REPUESTOS: Es toda aquella actividad que garantice la probabilidad de conseguir un repuesto cuando se necesite sin afectar la disponibilidad y confiabilidad del sistema.

MST: (MAINTENANCE SCHEDULE TASK) Funcionalidad de Ellipse que permite el disparo de eventos o acciones de mantenimiento de origen preventivo con base en una frecuencia definida.

RCM: RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE- metodología que permite definir, en forma sistemática, estrategias de mantenimiento de máquinas y equipos, desarrollada por la aviación comercial norteamericana y luego adaptada a la industria y equipos de tierra en general. RCM se inscribe, dentro de los procesos de mejora continua, como una herramienta de ciclo proactivo.

RCS: RELIABILITY-CENTERED SPARES- ó Repuestos Centrados en Confiabilidad es un proceso sistemático y estructurado que se deriva directamente de la filosofía del RCM que, brinda una base racional para la optimización de los inventarios de repuestos críticos.

SISTEMAS DE INVENTARIOS: Conjunto de políticas y controles que regulan los niveles de inventarios y determinan que niveles se deben mantener, cuando se deben reabastecer existencias y cuál debe ser el volumen de los pedidos¹.

STANDARD JOB: (SJ) Estándar de trabajo. Patrón que contiene la planeación requerida para una acción de mantenimiento.

¹ CHASE, Richard B., JACOBS, F. Robert y AQUILIANO, Nicholas J. Administración de la Producción y operaciones. Decima edición. México D.F. McGrawHill, 2004, Pág. 416.

RESUMEN

TITULO: MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO ECOPETROL S.A. – CORPORACIÓN CIMA*

AUTOR: LEÓN GALEANO, LINA MARCELA**

PALABRAS CLAVES: inventario, repuestos, Clasificación ABC, RCM, Mantenimiento.

RESUMEN:

Los repuestos son aquellos activos físicos que hacen parte de los inventarios para el soporte de las operaciones de la empresa. En algunas ocasiones su ausencia puede generar un gran impacto en la disponibilidad de los equipos, y presentan altos costos de almacenamiento cuando se tienen en almacenamiento.

Es por esto que se requiere de administración y gestión de los mismos, con el fin de minimizar estos impactos. Con apoyo de la implementación de la metodología RCM en el área de Mantenimiento en la Gerencia Regional Magdalena Medio, se determinaron los algoritmos de reposición y los costos totales de las políticas de inventarios.

Apyados también por el software de Gestión Ellipse, utilizado para la gestión de repuestos y definición de políticas, en el que se validaron cada uno de los algoritmos propuestos. Obteniéndose como resultado general una reducción del 58% del inventario del área de Mantenimiento una vez se implemente esta propuesta.

Se analizaron materiales almacenados en las bodegas 01GE del Centro, la 0151 de Casabe y la 0152 de Cantagallo, se propuso una clasificación por medio del análisis ABC. Una vez se realizó dicho análisis se evaluaron cada uno de los ítems por su criticidad e impacto en las operaciones reclasificándose de esta manera. A partir de esta identificación se definieron los algoritmos de reposición de inventarios para repuestos clasificados en la Zona A y B (Esenciales, Críticos y de Soporte).

Con esta metodología se buscaba implementar mejores prácticas al proceso que se está llevando a cabo para la administración de inventarios de Ecopetrol S.A. a través de la consultoría con la Corporación CIMA.

* Proyecto de Grado Modalidad práctica Empresarial.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Ingeniería Industrial Director: Javier Eduardo Arias.

ABSTRACT

TITLE: IMPROVING THE MANAGEMENT OF SPARE PARTS FOR THE MAINTENANCE OF THE MIDDLE MAGDALEÑA REGIONAL MANAGEMENT TEAMS ECOPETROL S.A. – CORPORACIÓN CIMA*

AUTHOR: LEÓN GALEANO, LINA MARCELA **

Keywords: Inventory spare parts, classification ABC, RCM, maintenance.

Summary:

Replacement parts are those physical assets that are part of the inventories to support the operations of the company. Sometimes their absence can generate a great impact on the availability of the equipment, and they present high storage costs when they are in storage.

This is why that administration and management thereof, is required in order to minimize these impacts. With support of the implementation of the RCM methodology in the area of maintenance in the Middle Magdalena Regional management, replacement algorithms and total costs of inventory policies were determined.

Supported also by Ellipse management software, used for spare parts management and definition of policies, which were validated each of the proposed algorithms. Resulting general a reduction of 58% of the inventory of the maintenance area once this proposal is implemented.

Analyzed materials stored in bodegas 01GE of the Center and Casabe 0151 0152 of Cantagallo, proposed a classification through the ABC analysis. Once performed this analysis were evaluated each of the items by their criticality and impact on operations reclassifying this way. From this identification algorithms of replenishment of inventories for spare parts classified in zone A and B were defined (essentials, critics and support).

This methodology sought to implement best practices to the process that is taking place for inventory management of Ecopetrol SA through consulting with CIMA Corporation.

* Degree project modality practiced corporate.

** Faculty of Engineerings physicochemical. School of industrial and business studies Industrial Engineering Director: Javier Eduardo Arias

CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

OBJETIVO	CUMPLE
Realizar diagnóstico inicial de los componentes de mantenimiento en el almacén.	Capitulo 3
Realizar análisis ABC de Inventarios a los repuestos analizados requeridos para los mantenimientos de la planta y/o estación analizadas.	Capitulo 4
Establecer niveles de servicio según las criticidades de los repuestos analizados.	Capitulo 5
Establecer una política óptima de inventarios (parámetros de reposición, niveles mínimos y máximo de inventarios) para los repuestos considerados.	Capitulo 6
Evaluar los algoritmos de reposición del CMMS ELLIPSE software utilizado por Ecopetrol S.A e identificar el algoritmo que más se ajusta a cada política propuesta.	Capitulo 6
Determinar el costo de la política de inventarios propuesta.	Capitulo 6

INTRODUCCIÓN

Para la mayoría de las empresas colombianas los inventarios representan gran parte de sus activos, lo que pudiera deberse a una inadecuada gestión, ausencia de planeación y logística, siendo estas las causas primordiales para que se asuman grandes costos y sacrifiquen sus capitales de trabajo en la compra de activos que no van a utilizar a corto tiempo.

El departamento de mantenimiento de la Gerencia Regional Magdalena Medio Ecopetrol S.A consiente de la importancia de agregar valor a sus procesos, aumentar la productividad, eficiencia de los equipos y la minimización de costos, busca mediante la aplicación de la técnica RCM- mantenimiento centrado en confiabilidad- desarrollar la planeación y organización de las tareas de mantenimiento de los equipos, que a su vez requieren de la estructuración de una gestión de inventarios para los repuestos necesarios en la ejecución de dichas tareas de mantenimiento, buscando la minimización de las cantidades a mantener en las bodegas de materiales.

La disponibilidad de repuestos de los equipos no solo se garantiza con excedentes en las bodegas, que únicamente generan excedentes en inventarios, deterioros, obsolescencias, pérdidas de los materiales e impuestos. Dicha disponibilidad puede ser garantizada mediante la planeación, estimación de tiempos y algoritmos de reposición, siendo de gran utilidad este método para disminuir el impacto financiero.

Es por esto, que mediante la aplicación de conceptos de la Ingeniería Industrial y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se fundamenta este proyecto, en el que se busca principalmente realizar una estructuración de la gestión de los

inventarios de repuestos con el fin de definir las cantidades mínimas necesarias que a su vez garanticen disponibilidad, niveles de servicio y minimización de costos en los Inventarios de las bodegas enfocados en un manejo eficiente y rentable de los recursos de la compañía.

La metodología en la que se trabajará para desarrollar el plan de mejoramiento es la de analizar los materiales almacenados en las bodegas 01GE del Centro, la 0151 de Casabe y la 0152 de Cantagallo, proponen una Clasificación inicial por medio del análisis ABC, y una vez realizada esta primera clasificación evaluar cada uno de los ítems por su criticidad e impacto en las operaciones reclasificándose de esta manera. A partir de esta identificación se definirán los algoritmos de reposición de inventarios para repuestos clasificados en la Zona A y B (Esenciales, Críticos y de Soporte).

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar una propuesta para el mejoramiento de la gestión de materiales requeridos para la ejecución del mantenimiento de los equipos para las plantas y/ estaciones de la Gerencia Regional Magdalena Medio Ecopetrol S.A-Corporación CIMA.

ESPECÍFICOS

- Realizar diagnóstico inicial de los componentes de mantenimiento en el almacén.
- Realizar análisis ABC de Inventarios a los repuestos analizados requeridos para los mantenimientos de las plantas y/o estaciones analizadas.
- Establecer niveles de servicio según las criticidades de los repuestos analizados.
- Establecer una política óptima de inventarios (parámetros de reposición, niveles mínimos y máximo de inventarios) para los repuestos considerados.
- Evaluar los algoritmos de reposición del CMMS ELLIPSE software utilizado por Ecopetrol S.A e identificar el algoritmo que más se ajusta a cada política propuesta.
- Determinar el costo de la política de inventarios propuesta.

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos². La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República.

La empresa funciona como sociedad de naturaleza mercantil, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines, conforme a las reglas del derecho privado y a las normas contenidas en sus

² Ecopetrol S.A. Quienes somos. [En línea]. Fecha de consulta. 25 Febrero 2012. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/categoria.aspx?catID=29>

estatutos, salvo excepciones consagradas en la ley (Decreto 1209 de 1994). En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo. En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos.

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Escritura Pública número 4832 del 31 de octubre de 2005, otorgada en la Notaría Segunda del Circuito Notarial de Bogotá D.C., y aclarada por la Escritura Pública número 5773 del 23 de diciembre de 2005.

Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva Ecopetrol S.A., la Compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos).

A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con

visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial.

Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$15,4 billones registrada en 2011 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

Ecopetrol S.A. Incursiona en la Bolsa de Nueva York en el 2008 y tiene gran participación en la bolsa de Valores de Colombia. Cuenta con más de 450 mil accionistas

1.2 TAMAÑO

En Colombia el segmento empresarial está clasificado en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, esta clasificación está reglamentada en la Ley 590 de 2000 conocida como la Ley Mipymes y sus modificaciones (Ley 905 de 2004).

Clasificación de las empresas³ año 2012 que se puede observar en la Tabla 1.

Por lo tanto Ecopetrol S.A. es una Gran empresa⁴, que al 31 de Diciembre de 2011 (cifras en millones de pesos colombianos) mostró activos por 85.251.174, un total de ingresos de 56.277.076 y unas utilidades netas de 15.448.33.

³ BANCOLDX. Clasificación de las empresas de acuerdo a su tamaño. [en línea]. Fecha de consulta: 25 de Febrero 2012. Disponible en: <http://www.bancoldex.com/contenido/contenido.aspx?catID=168&conID=315>

⁴ Ecopetrol S.A. Estados Financieros [en línea]. Fecha de consulta: 25 Febrero 2012. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/documentos/60401_PYG-DIC11-DIC10.pdf

Tabla 1. Clasificación de las Empresas

Tamaño	Activos Totales SMMLV
Microempresa	Hasta 500
Pequeña	Superior a 500 y hasta 5.000
Mediana	Superior a 5.000 y hasta 30.000
Grande	Superior a 30.000
SMMLV 2012	\$566.700

Fuente: Bancoldex

Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006.

Figura 1. Ecopetrol en Colombia y el Mundo



Fuente: Ecopetrol S.A.

Ecopetrol cuenta con campos de extracción de hidrocarburos en el centro, el sur, el oriente y el norte de Colombia, dos refinerías, puertos para exportación e importación de combustibles y crudos en ambas costas y una red de transporte de 8.500 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional, que intercomunican los sistemas de producción con los grandes centros de consumo y los terminales marítimos.

1.3 PLAN ESTRATÉGICO

1.3.1 Misión. Encontramos y convertimos fuentes de energía en valor para nuestros clientes y accionistas, asegurando la integridad de las personas, la seguridad de los procesos y el cuidado del medio ambiente, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operamos, con personal comprometido que busca la excelencia, su desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con nuestros grupos de interés.

1.3.2 Visión al 2020 del grupo empresarial. Ecopetrol, Grupo Empresarial enfocado en petróleo, gas, petroquímica y combustibles alternativos, será una de las 30 principales compañías de la industria petrolera, reconocida por su posicionamiento internacional, su innovación y compromiso con el desarrollo sostenible.

1.3.3 Grupo empresarial. Ecopetrol S.A está compuesta en su situación de grupo empresarial como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Sociedades Subordinadas Grupo Empresarial Ecopetrol S.A.

	FILIAL	SUBSIDIARIA	PARTICIPACIÓN ACCIONARIA
Exploración y Producción	 51%	 100%  100%  100%  100%	 50%
Transporte	Cenit S.A.S 100%	 56%  72.65%  73%  65%	 49%
Refinación y Petroquímica		 100%  100%  100% Refinería de Cartagena S.A.	
Energías Alternativas		 91.43% 	 50%
Vehículos financieros y de inversión y otras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Black Gold Re ▪ Andean Chemicals Ltd. ▪ EPI Limited. ▪ Ecopetrol Global Energy SLU ▪ Hocol Petroleum Ltd ▪ Ecopetrol Global Capital SLU ▪ Ecopetrol Capital A.G 100%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Santiago Oil Co ▪ Colombia Pipelines Limited 100%	 43.35%  7.19%  5.32%  6.87%

Fuente: Ecopetrol S.A.

Estas están definidas como Filial, Subsidiaria y participación Accionaria definidas por Ecopetrol⁵ así:

Filial: Son todas aquellas inversiones en que Ecopetrol S.A. posee más del 50% de participación accionaria de manera directa.

5 Ecopetrol S.A. Grupo Empresarial [en línea]. Fecha de consulta: 25 de Febrero 2011. <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=532&conID=41705>

Subsidiaria: Son todas aquellas inversiones en que Ecopetrol S.A. posee más del 50% de participación accionaria de manera indirecta, es decir, a través de otra compañía de su propiedad.

Participación Accionaria: Son todas aquellas inversiones en que Ecopetrol S.A. posee igual o menos del 50% de participación accionaria, sea de manera directa o indirecta.

1.3.4 Objetivos. De acuerdo con los Estatutos Sociales, el objeto social de Ecopetrol S.A. es el desarrollo, en Colombia o en el exterior, de actividades comerciales o industriales correspondientes o relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos.

Adicionalmente, forman parte del objeto social de Ecopetrol S.A.:

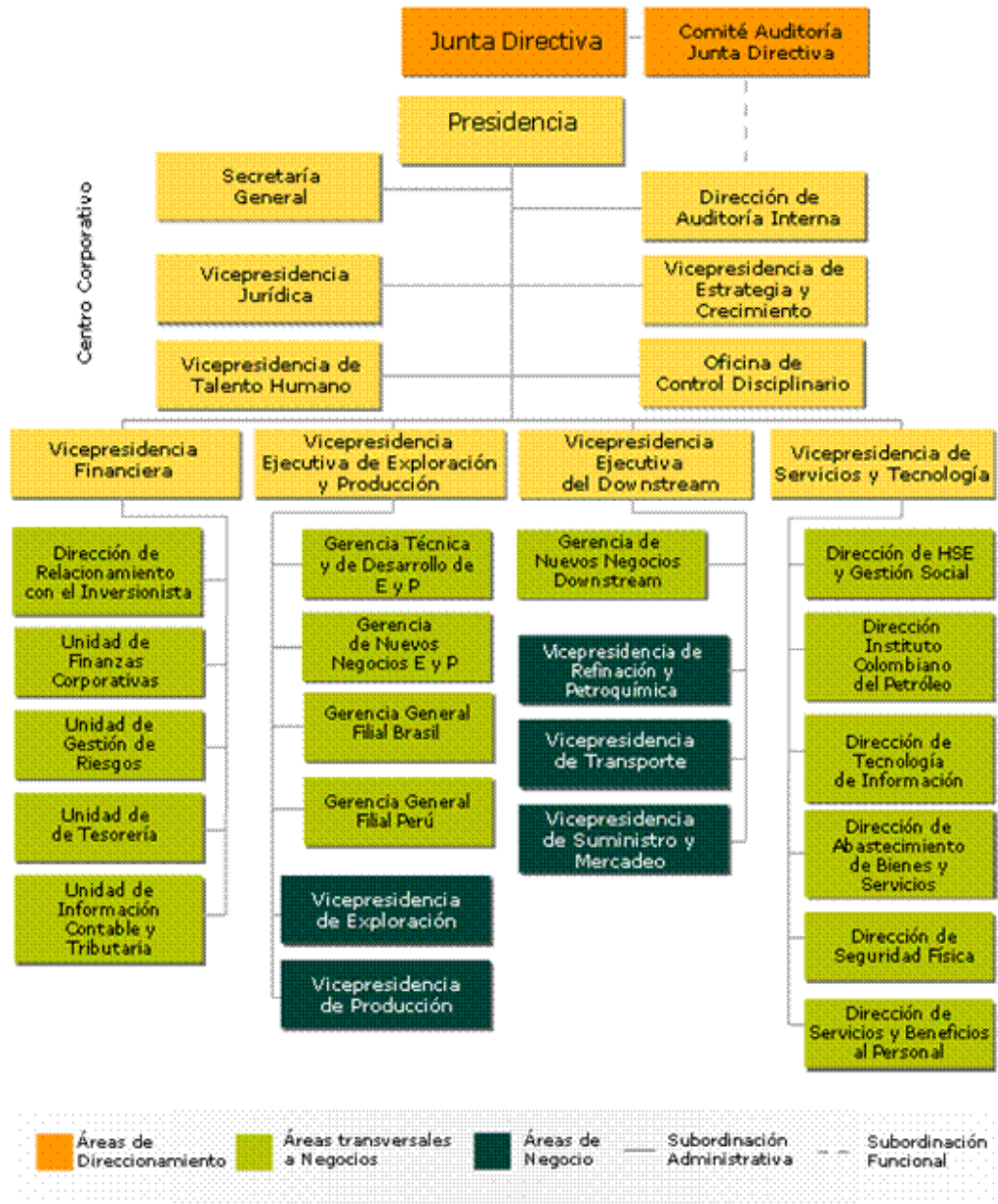
- La administración y manejo de todos los bienes muebles e inmuebles que revirtieron al Estado a la terminación de la antigua Concesión De Mares. Sobre tales bienes tendrá, además, las facultades dispositivas previstas en la ley.
- La exploración y explotación de hidrocarburos en áreas o campos petroleros que, antes del 1º de enero de 2004: a) se encontraban vinculadas a contratos ya suscritos o, b) estaban siendo operadas directamente por Ecopetrol S.A.
- La exploración y explotación de las áreas o campos petroleros que le sean asignadas por la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH-.
- Exploración y explotación de hidrocarburos en el exterior, directamente o a través de contratos celebrados con terceros.

- Refinación, procesamiento y cualquier otro proceso industrial o petroquímico de los hidrocarburos, sus derivados, productos o afines, en instalaciones propias o de terceros, en el territorio nacional y en el exterior.
- Compra, venta, importación, exportación, procesamiento, almacenamiento, mezcla, distribución, comercialización, industrialización, y/o venta de hidrocarburos, sus derivados, productos y afines, en Colombia y en el exterior.
- Transporte y almacenamiento de hidrocarburos, sus derivados, productos y afines, a través de sistemas de transporte o almacenamiento propios o de terceros, en el territorio nacional y en el exterior, con excepción del transporte comercial de gas natural en el territorio nacional.
- Realizar la investigación, desarrollo y comercialización de fuentes convencionales y alternas de energía.
- Realizar la producción, mezcla, almacenamiento, transporte y comercialización de componentes oxigenantes y biocombustibles.
- Realizar la operación portuaria.
- Realizar cualquier actividad complementaria, conexas o útiles para el desarrollo de las anteriores.

Garantizar obligaciones ajenas cuando ello sea estrictamente necesario dentro del giro de sus negocios y en el marco de su objeto social, previa autorización de su Junta Directiva.

1.3.5 Organigrama

Figura 3. Organización Ecopetrol S.A.



Fuente: Ecopetrol S.A.

1.3.6 Cultura organizacional. La cultura organizacional se caracteriza por evidenciar los siguientes elementos:

- Respeto por el ser humano
- Responsabilidad
- Integridad
- Orientación a resultados
- Orientación al cliente y al mercado
- Aprendizaje en equipo

1.4 CLIENTES

Ecopetrol cuenta con siete clientes en combustibles denominados, de acuerdo con la regulación colombiana, como distribuidores mayoristas, pero también despacha a 97 clientes más dentro del país. En GLP tiene 28 clientes, en gas natural seis y en petroquímicos más de 340. En la se muestra un cuadro consolidado de los principales clientes en el país.

La empresa tiene además 21 clientes para bases lubricantes y otros 21 para asfaltos, 53 clientes de disolventes y cuatro de polietileno.

Son 23 los clientes internacionales de Ecopetrol. Estos y todos los anteriores incluyen a los clientes de la Refinería de Cartagena S.A. cuya administración, operación y comercialización de productos está en manos de Ecopetrol, gracias a un contrato de mandato desde abril de 2007 por 4 años.

Figura 4. Clientes



Fuente: Elaboración Propia

En transporte de crudos Ecopetrol tiene 14 clientes, en transporte de refinados 10 y en transporte de GLP 20. Además presta servicios de operación y mantenimiento de ductos para Ocesa, el Oleoducto de Colombia (ODC) y Petrobras.

1.5 PRODUCTOS

Figura 5. Productos.



Fuente: Elaboración Propia

1.6 PROCESOS

1.6.1 Procesos nivel 0. Procesos de direccionamiento

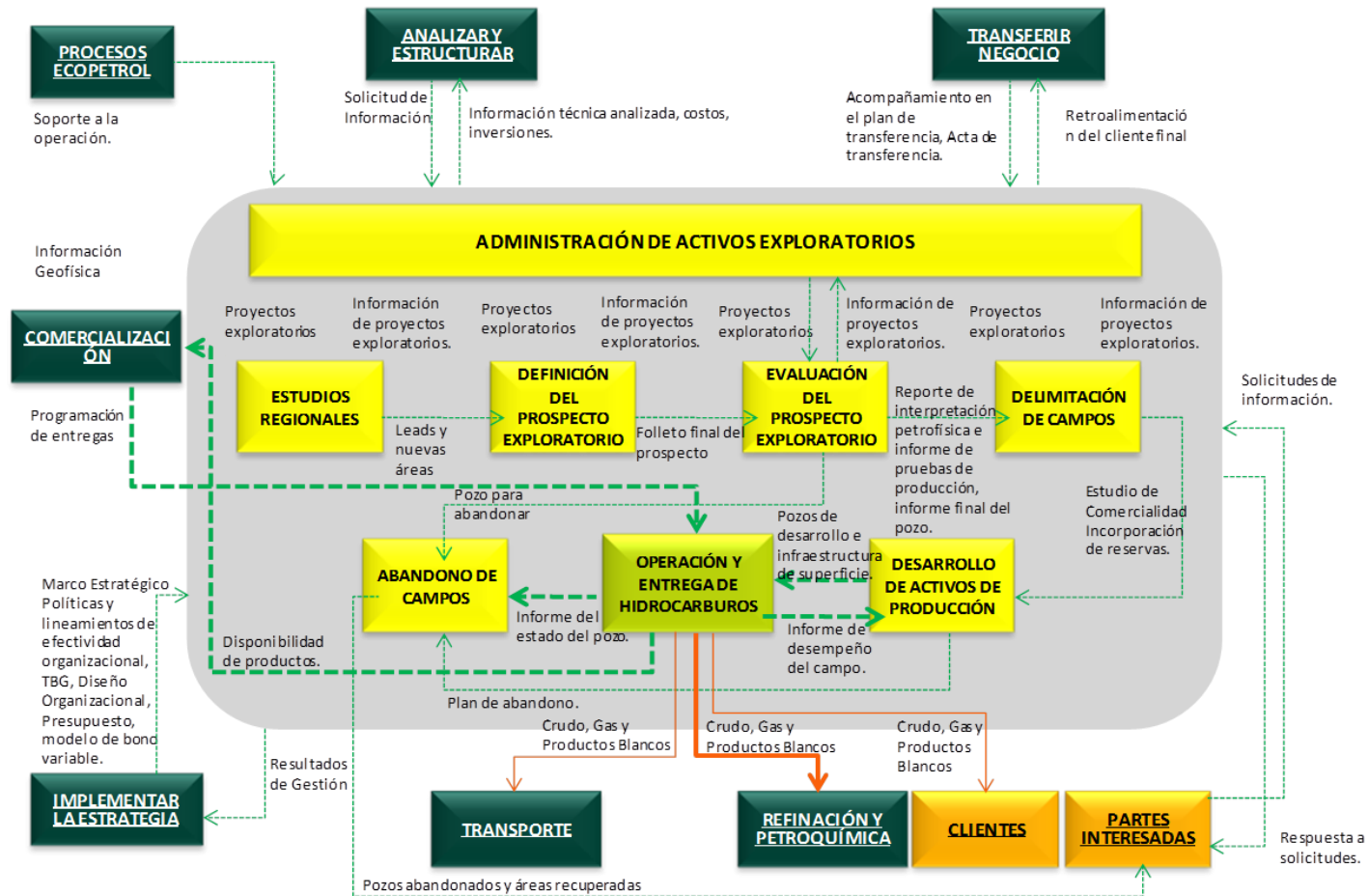
Figura 6. Procesos de Direccionamiento.



Fuente: Ecopetrol S.A.

1.6.2 Procesos nivel 1. Exploración y producción

Figura 7. Procesos de Exploración y Producción

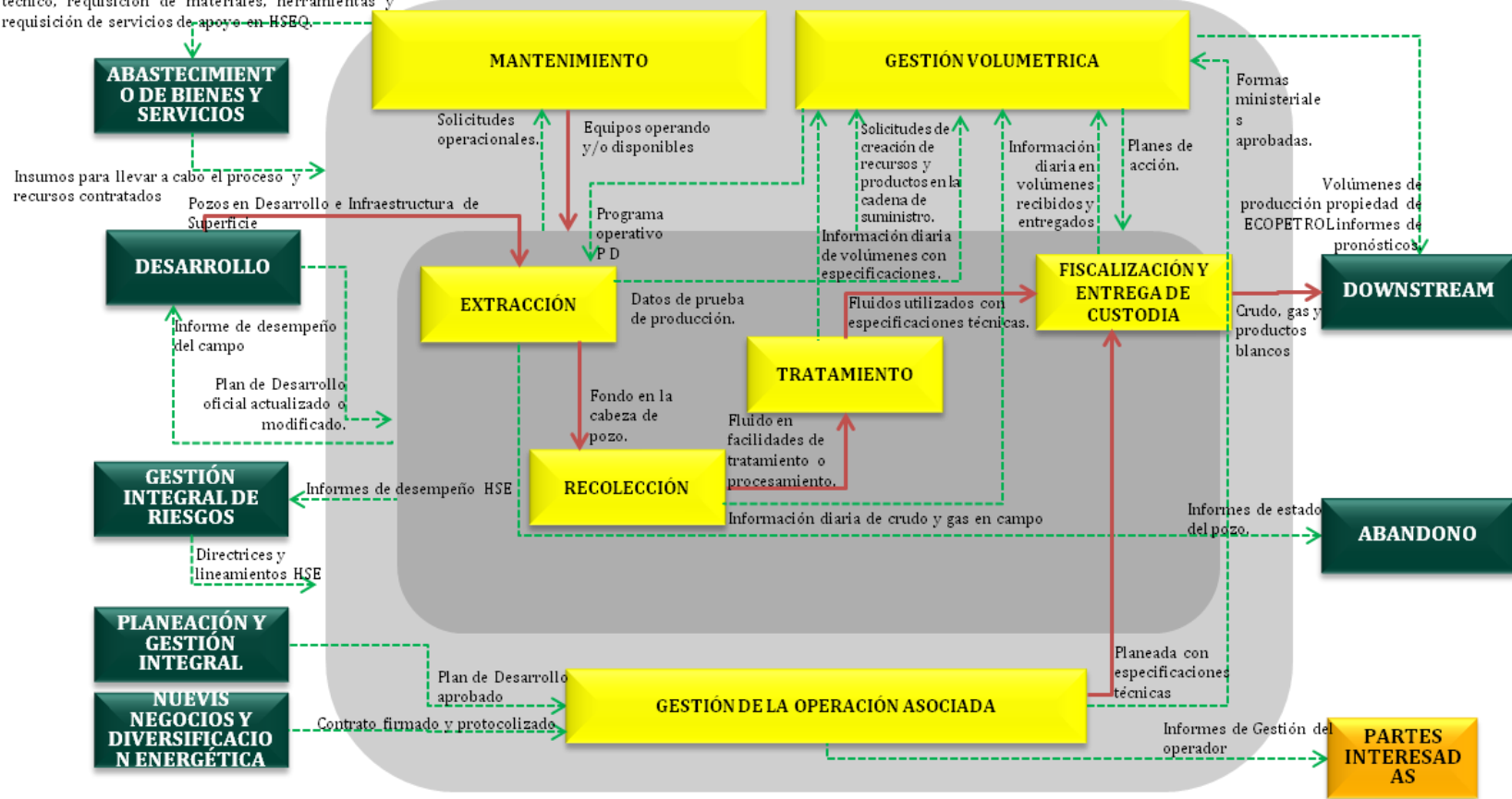


Fuente: Ecopetrol S.A..

1.6.3 Procesos nivel 2. Operación y entrega

Figura 8. Procesos de Operación y Entrega.

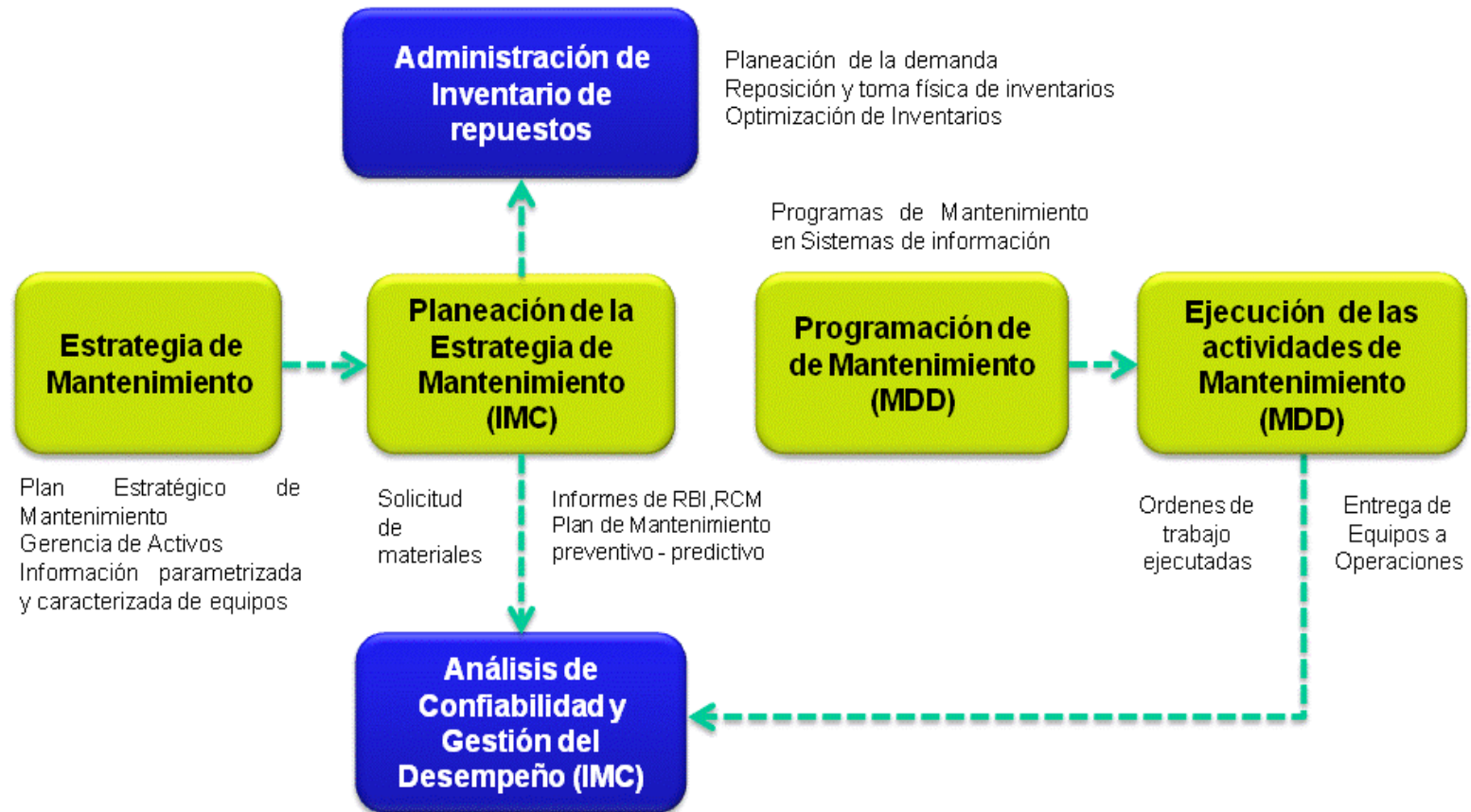
Programación asignación de recurso humano y técnico, requisición de materiales, herramientas y requisición de servicios de apoyo en HSEQ.



Fuente: Ecopetrol S.A.

1.6.4 Procesos nivel 3. Mantenimiento

Figura 9. Procesos de Mantenimiento.



Fuente: Ecopetrol S.A.

1.7 TECNOLOGÍA

1.7.1 Sistema de Información Volumétrica (SIV). Sistema de información volumétrica (SIV)⁶, recoge, procesa y almacena toda la información volumétrica oficial de Ecopetrol. Esta información incluye volúmenes diarios de producción, tratamiento, transporte, refinación y comercialización de crudos y refinados a nivel nacional. SIV a su vez, se encarga de suministrar toda la información de carácter operacional a los sistemas financiero contables (ERP's) de la compañía, en particular SAP.

1.7.2 SAP. La aplicación SAP⁷, simplifica la presupuestación, la planificación y las previsiones, permitiendo que todos los grupos de interés colaboren en la asignación de recursos. Su interfaz resulta muy familiar, mejora la productividad y la adopción por parte del usuario, al mismo tiempo que reduce los costos de formación y soporte. Además, se pueden cerrar libros más rápidamente armonizando planes de cuentas, automatizando procesos manuales y eliminando el uso de hojas de cálculo no fiables y lentas.

Ofrece las funcionalidades básicas que le ayudan a mejorar la ejecución para conseguir objetivos estratégicos, vinculando iniciativas, planes y actividades operativas. Por consiguiente, se puede comunicar la contabilidad de forma explícita en toda la empresa. La mayor visibilidad y transparencia ayuda a los empleados a determinar cómo sus acciones diarias afectan a los objetivos empresariales.

⁶ ANALÍTICA. Quienes somos. [En línea] fecha de consulta: 13 de Agosto 2010. Disponible en: http://www.analitica.com.co/analitica_nuevo/htmls/quienes_somos.html

⁷ SAP. Características aplicación SAP [En línea]. Fecha de consulta: 13 agosto 2010. Disponible en: <http://www.sap.com/spain/sme/solutions/businessintelligence/businessobjectsedge/index.epx?tab=SolutionBenefits>

1.7.3 CMMS ELLIPSE. Mincom Ellipse⁸ es una solución de gestión de activos empresariales (EAM) y planificación de recursos empresariales (ERP) totalmente integrada construida por 30 años de experiencia de trabajo para una base de clientes intensivos en activos en todo el mundo. Proporciona una visibilidad completa y la gestión de los activos de la empresa amplia a las organizaciones de la minería, defensa, infraestructuras públicas, la energía y el petróleo y el gas.

Mincom Ellipse mejora el rendimiento de los activos en todas las áreas de la actividad principal, incluyendo gestión de activos y trabajo, recursos humanos, gestión financiera y cadena de suministros y logística. La solución ofrece:

- Estadísticas detalladas de operación y producción.
- Análisis de historial y costos de equipos.
- Soporte para mano de obra móvil.
- Integración de herramientas para Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), monitoreo de condiciones, y sistemas SCADA.
- Programación de recursos y mantenimiento planificados.
- Gestión de talento y capacitación, incluyendo todas las fases del proceso de reclutamiento.
- Gestión de la Salud, Seguridad, Responsabilidad Social, y la administración de los contratos de Medio Ambiente (HSSE), incluidos los SLA's y el desempeño de los proveedores.

1.7.4 RCM ++. El Software RCM++⁹ facilita el análisis, la gestión de los datos y la reproducción de los informes para los análisis de RCM. Soporta las principales normas de la industria (tales como ATA MSG-3, SAE JA1011 y SAE JA1012) y

⁸ Mincom Ellipse. Casos de éxito [En línea]. Fecha de consulta: 25 de Febrero 2012. Disponible en: <http://www.mincom.com/es/resources/type/success/SS-Ecopetrol.aspx>

⁹ Reliasoft. RCM++[en línea]: Fecha de consulta: 25 de Febrero 2012. <http://www.reliasoft.es/rcm/index.htm>

también ofrece opciones de análisis personalizados para adecuarse a las necesidades de su empresa.

RCM++ tiene una interfaz flexible, fácil de configurar, para trabajar y para salvar sus análisis. El software incluye las siguientes herramientas: selección equipamiento, categorización del efecto de falla y selección de las tareas de mantenimiento. RCM++ también tiene cálculos basados en simulacros que pueden ser utilizados para comparar costos potenciales de estrategias de mantenimiento y una calculadora para estimar el mejor intervalo para mantenimiento preventivo y de la predicción

Con RCM++ es posible:

- Optimizar tareas de mantenimiento basándose en la metodología RCM.
- Determinar intervalos para mantenimientos preventivos e inspecciones.
- Evaluar el riesgo operacional de equipamientos y sistemas.
- Permite la aplicación de la metodología según diversas normas de RCM1.8

ESTRATEGIA DE DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Según la planeación estratégica del Departamento de Mantenimiento de la GRM, mediante la aplicación de planes de mejora continua realizados por el Talento de Clase Mundial que cumplen las políticas del Sistema de Gestión Integral de Ecopetrol se busca maximizar la disponibilidad, confiabilidad e integridad de la infraestructura productiva, para cumplir las metas de producción a un costo óptimo.

Es por esto, que para el 2012 “la Función Mantenimiento en la Gerencia Regional del Magdalena Medio de ECOPETROL S.A. será una organización altamente

efectiva, con resultados dentro del estándar mundial que satisfagan los requerimientos del cliente”¹⁰.

1.8.1 Consultoría RCM. La Corporación CIMA mediante la “CONSULTORIA PARA EL SOPORTE TÉCNICO Y LA IMPLANTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN LAS PLANTAS Y ESTACIONES DE LA GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO DE ECOPETROL S.A.” dará cumplimiento a los objetivos planteados según las siguientes especificaciones técnicas del contrato¹¹:

- Diseñar e implementar en el CMMS Ellipse el plan integral de mantenimiento para equipos de estaciones, plantas y demás sistemas productivos de la GRM, basados en la metodología de RCM.
- Realizar estudio de IPF para calderas, hornos y tratadores termo-electrostáticos e implementar en el CMMS Ellipse la estrategia de mantenimiento y pruebas funcionales.
- Optimizar el stock de repuestos (RCS) requeridos para ejecutar el plan de RCM.
- Desarrollar el Modelamiento de Confiabilidad y Disponibilidad (RAM) de plantas y equipos.
- Dar el soporte técnico en ingeniería, diseño, estructuración de proyectos de mantenimiento, comisionamiento de equipos y manejo de cambios en plantas y equipos.

¹⁰ Presentación Sistema de Gestión de Calidad Departamento Mantenimiento de Mares.

¹¹ Anexo 3: Especificaciones Técnicas del contrato 5203789.

- Realizar auditorías de mejora continua de los procesos de la función mantenimiento.
- Dar el soporte técnico especializado, entrenamiento y desarrollo de aplicaciones en el sistema computarizado para la administración del mantenimiento (CMMS) Ellipse.
- Diseñar y/o revisar los subproceso que intervienen en el proceso de mantenimiento de subsuelo, incluye caracterización, diagramas de flujo, documentación, etc. E implantación en una herramienta informática.
- Diseñar e implementar en una herramienta informática el proceso de administración de herramientas y materiales requeridos en el proceso de mantenimiento de subsuelo.

1.8.2. Descripción de la empresa contratada. Corporación para la Investigación y Desarrollo en Ciencia de Materiales¹² – CIMA – es una entidad sin ánimo de lucro creada en el mes de Diciembre de 1999 como empresa incubada, con el apoyo de la Corporación Bucaramanga Emprendedora y desde su creación, se encuentra ubicada en Bucaramanga en el Edificio UIS Bucarica, cuenta además con sedes en las ciudades de Barrancabermeja y Villavicencio.

Por su naturaleza, revierte todos sus excedentes en actividades de investigación, transferencia tecnológica y capacitación especializada para fortalecer el desarrollo de los profesionales vinculados en las áreas de corrosión y control, integridad de equipos, nuevos materiales y fenómenos afines, con el fin de suplir las necesidades del sector energético e industrial de la región y del país.

¹² Manual de calidad corporación CIMA

Desde el año 2000, Corporación CIMA viene incrementando sus fortalezas en el área de consultoría mediante el desarrollo de proyectos de investigación, transferencia y aplicación de tecnología con un recurso humano altamente calificado, con el propósito de dar soporte a la industria con los más altos estándares de calidad y cumplimiento del marco legal establecido en seguridad, salud ocupacional y ambiente.

La Corporación CIMA se encuentra inscrita en los Registros de Proponentes de empresas como PETROBRAS BRASPETRO B.V., Gas Natural E.S.P., ECOGAS, OCCIDENTAL ANDINA, para la prestación de servicios de Consultoría en las áreas de Corrosión e Integridad de equipos.

A nivel de convenios, la Corporación ha consolidado alianzas estratégicas y convenios con instituciones del sector académico como la Universidad Industrial de Santander (Escuela de Ingeniería Metalúrgica) y empresas del sector privado tales como CTP LTDA., AMBIOCOOP LTDA., ARCOMAT LTDA., lo cual le ha permitido unir fortalezas para el desarrollo de proyectos de investigación y la prestación conjunta de servicios a ECOPETROL S.A.

Paralelamente se han realizado trabajos de soporte en el Área de Análisis de Falla de diversos componentes y equipos para empresas del sector industrial y petrolero como Weatherford Neiva, Muelles el Bosque, Camel, Transejes, Saceites, entre otras.

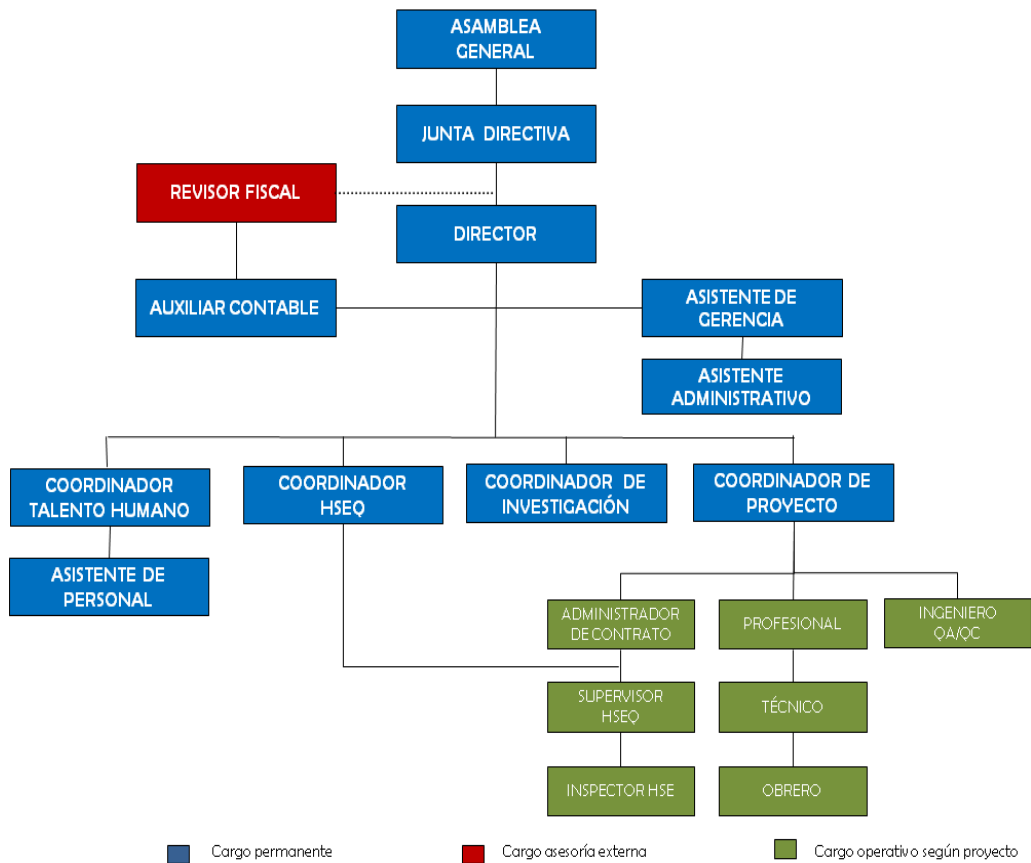
1.8.2.1 Misión. La Corporación para la Investigación y Desarrollo en Ciencia de Materiales-CIMA, es una entidad sin ánimo de lucro, cuya misión es realizar investigación, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para satisfacer integralmente las necesidades en las áreas de ingeniería de materiales, inspección corrosión e integridad de activos, mejorando las posibilidades

competitivas del sector energético e industrial dentro de un marco de control y equilibrio con el entorno.

1.8.2.2 Visión. La Corporación para la Investigación y Desarrollo en Ciencia de Materiales-CIMA, será una organización de reconocimiento Nacional y de proyección internacional, capaz de generar y entregar soluciones tecnológicas en las áreas de Ciencia de Materiales, inspección, corrosión e integridad de activos al sector energético e industrial, convirtiéndose en una ventaja competitiva para el desarrollo del país.

1.8.2.3 Estructura organizacional Corporación CIMA

Figura 10. Estructura Organizacional Corporación CIMA.



Fuente Manual de Calidad Corporación CIMA

1.8.2.4 Mapa de procesos. La Corporación CIMA ha identificado como procesos necesarios para llevar a cabo sus actividades como los siguientes:

Figura 11. Mapa de Proceso Sistema Integrado de Gestión



Fuente: Manual de Calidad Corporación CIMA.

1.8.2.5 Servicios ofrecidos. Los servicios que ofrece Corporación CIMA son los siguientes:

Área de Corrosión: abarca la realización de trabajos de consultoría en proyectos de Diagnóstico, Control y Monitoreo de la Corrosión en equipos, tanques de almacenamiento y líneas de transporte. Entre las actividades que incluyen este servicio son:

- Lavado de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

- Inspección visual
- Medición de espesores por ultrasonido.
- Diagnóstico del estado de corrosión exterior e interior
- Evaluación de recubrimientos.
- Evaluación y montaje de sistemas de protección catódica.
- Selección, evaluación y optimización de tratamientos químicos y recubrimientos.
- Monitoreo por gravimetría, análisis físico-químico, análisis microbiológico y técnicas electroquímicas.
- Monitoreo de condiciones atmosféricas, caracterización de suelos y protección catódica.

Área de Integridad: abarca la inspección y diagnóstico del estado mecánico, metalúrgico y evaluación de la vida residual de equipos, tanques de almacenamiento y líneas de área de transporte, producción y refinación, para determinar su continuidad operacional en forma segura. Entre las actividades que incluyen este servicio son:

- Inspección visual.
- Ensayos no destructivos.
- Ensayos destructivos.
- Caracterización de materiales.
- Integridad de activos.
- Análisis de Falla y causa raíz.
- Análisis históricos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico¹³

Al final de 1950, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Dos tercios de estos accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos.

El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos implicaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos.

Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que gastaran y así prevendrían fallas. En esos días, mantenimiento significaba una cosa: reparaciones periódicas.

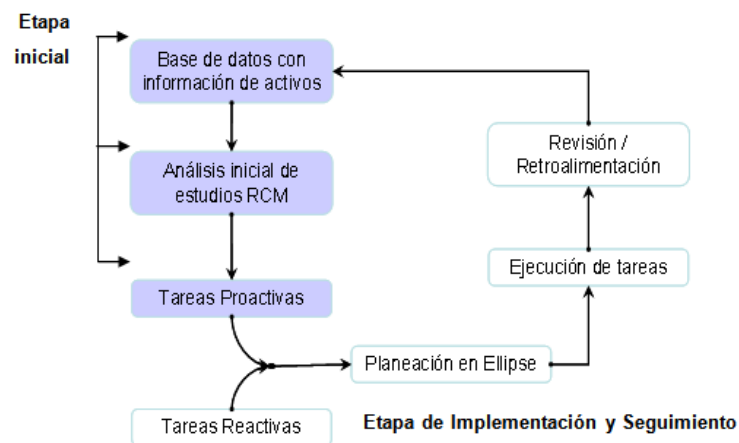
¹³ Mantenimiento Petroquímica ¿Que es RCM?. [en línea].Fecha de consulta: 1 Marzo 2012. Disponible en: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

Es por esto que el RCM tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana. Y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento no sólo eran costosas sino también altamente peligrosas.

En 1978 Stanley Nowlan y Howard Heap publicaron una versión del MSG-3 (Grupos de Dirección de Mantenimiento). Luego Jhon Moubray hizo una modificación de RCM original, sin apartarse de la Metodología original llamada RCM2, que se ha convertido en la metodología de RCM mas implementada en el mundo.

La metodología de RCM conlleva a un proceso soportado de decisión estructurada para determinar y documentar los requerimientos de mantenimiento costo efectivo de cualquier activo físico en su contexto operacional. El proceso RCM consta de dos etapas principales, como se pueden observar en la Figura 12:

Figura 12. Etapas del Proceso RCM.



Fuente: Manual de Metodología RCM-ICP-ECOPETROL S.A.

- **Etapas Inicial:** Consiste en un estudio para seleccionar las tareas proactivas recomendadas para cada equipo, considerando todos los costos de falla, es decir, utiliza criterios económicos y de seguridad HSE, para identificar la relevancia de la falla del equipo, que justifique el costo y desempeño del mantenimiento proactivo.
- **Etapas Implementación y seguimiento:** Consiste en la integración del análisis RCM con el proceso de mantenimiento existente en la empresa, realizando la programación de tareas en software- en este caso Ellipse- y realizando seguimiento al proceso de mantenimiento con el fin de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Se busca principalmente con la implementación de esta estrategia reducir el trabajo no planeado y los costos de mantenimiento rutinario e incrementar la disponibilidad de los equipos y unidades. En el análisis de los equipos se deben identificar las causas y consecuencias de las fallas, desde el punto de vista del impacto que tienen estas sobre la empresa, mediante el siguiente cuestionamiento:

¿Cuáles son los modos de falla dominantes de los equipos?

¿Cuáles son sus consecuencias?

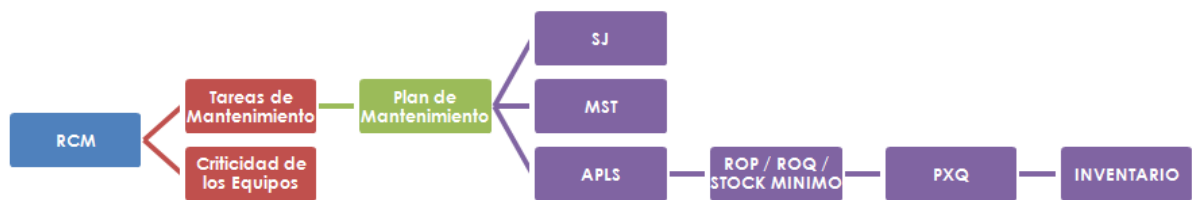
¿Qué puede hacerse para prevenir que la falla o al menos mitigar sus consecuencias?

Para esto se requiere la participación de los especialistas, ingenieros de mantenimiento y el personal de operaciones que conozcan el funcionamiento y operación de los diferentes Equipos: Rotativo, eléctrico, instrumentación e inspección. El estudio es llevado a cabo en un ambiente de compañerismo, intercambiando experiencias locales y con una perspectiva más allá de lo

previsto, para asegurar que los resultados sean significativos y logren el propósito esperado.

2.1.1 Contextualización de los procesos de la consultoría Para el desarrollo de la Consultoría para el Soporte Técnico y la Implementación de la estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en las plantas y Estaciones de la Gerencia Regional Magdalena Medio de Ecopetrol S.A. , se siguieron los pasos de identificación de fallas, valoración de Criticidades y definición de tareas de Mantenimiento, tal como se muestra en la Figura 14 tal como se define en la siguiendo el Según el Manual de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM del ICP¹⁴.

Figura 13. Implementación del RCM en las plantas.



Fuente: elaboración Propia

Siguiendo también las siguientes actividades como pasos preparatorios:

- Selección de la unidad: El primer paso es identificar cual proceso será analizado. La unidad de proceso que se seleccionó para el análisis debe estar basada en un orden de prioridad con el fin de establecer la unidad de mayor impacto en el negocio en general. Los criterios utilizados en la evaluación de criticidad de las unidades de proceso deben incluir el efecto económico hacia el negocio, la disponibilidad, costos de mantenimiento y la posibilidad de transferir los resultados hacia otras unidades de proceso y equipos.

¹⁴ Manual de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM. Instituto colombiano del Petróleo, Ecopetrol S.A.

Esta etapa inicia con un inventario de la planta, realizando un levamiento de todos los equipos de planta, su codificación y registro de ficha técnica completo (Data sheet).

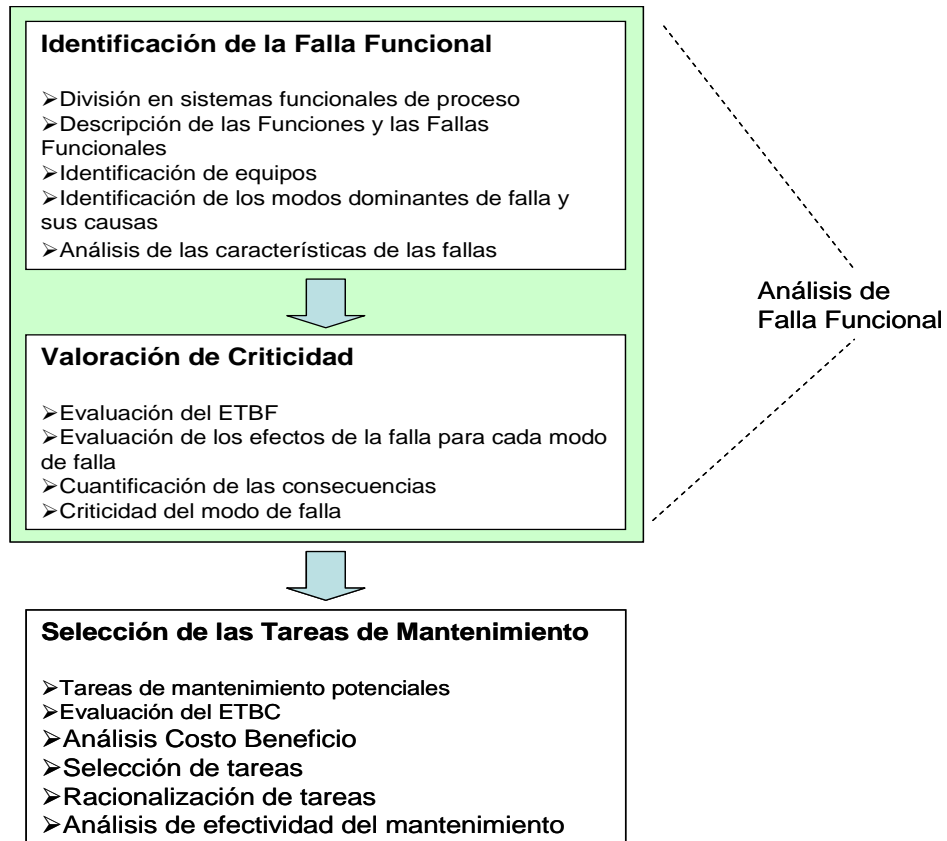
Los resultados de la valoración de criticidad de las unidades de proceso pueden ser usados para priorizar las iniciativas de mejoramiento de la confiabilidad proactiva y reactiva a nivel local en cada negocio.

- Definir límites: Los límites de la unidad de proceso a estudiar deben ser claramente establecidos para identificar todos los equipos a ser analizados. Todos los equipos fuera de los límites establecidos se asumen que están disponibles. Los efectos de sus pérdidas deben estar sujetos a un análisis separado.

Se hace una priorización de los equipos identificando aquellos que son críticos de los que no lo son; esto es muy importante pues las etapas que continúan son muy intensivas en el uso de recursos y éstos suelen ser escasos, por lo cual la priorización asegurará resultados en el corto plazo que avalen el desarrollo del proceso en el medio y largo plazo.

- Recolección de datos y asunciones: Para todos los equipos a analizar y cuantificar las consecuencias de las fallas, se requiere recoger información relevante. Esta información son los datos que han sido registrados, o información obtenida de experiencia de expertos. Por lo tanto, es esencial que el equipo de estudio este compuesto de personas con buena representación de experticia y experiencia.

Figura 14. Visión General Análisis RCM



Fuente: Manual Metodología RCM-ICP-ECOPETROL S.A.

2.1.1.1 Identificación de la falla funcional. El proceso RCM se centra el proceso Análisis de Falla Funcional, FFA. Este consiste de dos partes, la identificación de la falla funcional y la evaluación de criticidad.

El FFA es una versión concentrada del proceso de Análisis del Modo y Efecto de Falla, FMEA, y es considerado menos engorroso, menos riguroso y de menor intensidad de recursos que el proceso FMEA como se aplica en el RCM. Para la identificación de Fallas funcionales es necesario llevar a cabo los siguientes pasos:

- División en Sistemas Funcionales de Proceso: Las fallas de los equipos pueden tener bastante diferencia en los efectos sobre la unidad de proceso. Algunas fallas no afectan directamente la disponibilidad del proceso y solo requieren una acción correctiva. Otras pueden afectar la salud de las personas, la seguridad, el ambiente y/o aspectos operativos y por consiguiente pueden tener un efecto adverso en la confiabilidad y disponibilidad de la unidad de proceso.
- Descripción de los sistemas funcionales de proceso y las Fallas Funcionales: El siguiente paso en el análisis es describir las funciones primarias y fallas asociadas a cada sistema de proceso
- Las dos descripciones, la de función del sistema de proceso y la falla funcional del sistema de proceso, deben incluir parámetros estándar de desempeño tales como temperatura, presión, cantidad y calidad de producto, etc. Las frases de la función primaria del sistema de proceso definen básicamente que se espera del sistema de proceso y qué función de proceso debe ser preservada.
- Las fallas funcionales se definen como la inhabilidad del sistema de proceso para reunir las funciones requeridas o lograr los estándares de desempeño deseados; estos pueden ser parciales o totales. La descripción de la falla funcional tiene de referencia la descripción de la función y básicamente define que es lo que va a ser evitado que ocurra.
- Inventario de Modos de Falla de los equipos: En este paso, se identifican y se hace el inventario de los modos dominantes de falla a examinar. Un equipo puede tener más de un modo dominante de falla y cada modo de falla debe ser analizado por separado.

El inventario de los modos de falla de los equipos es un paso importante en la administración del riesgo y la confiabilidad y en la selección y desarrollo de las opciones apropiadas de mantenimiento. Cualquier tarea de mantenimiento debe estar enfocada hacia un modo de falla específico. Es el modo de falla y su característica lo que determina cuales tareas de mantenimiento se requieren para prevenir que ocurra una falla prematura o al menos mitigar los efectos de la falla.

En el proceso de RCM, solo los modos dominantes de falla de los equipos deben ser tratados. Los modos de falla a considerar son los siguientes:

1. Modos de falla que pueden suceder si no se efectúa mantenimiento. Esto es una consideración con base cero mantenimiento. Estos modos de falla deben estar siempre sujetos a una tarea de mantenimiento proactiva.
2. Modos de falla experimentados durante la operación de los equipos o equipos similares, independiente de cualquier esfuerzo de mantenimiento, a menos que el equipo haya sido modificado para prevenir su ocurrencia.
3. Modos de falla no experimentados todavía pero que se consideran creíbles y con la suficiente probabilidad que ocurran.

2.1.1.2 Análisis de criticidad. El análisis de criticidad consta de las siguientes evaluaciones:

- Evaluación del tiempo Estimado Entre Fallas sin mantenimiento (ETBF): Para determinar el riesgo anual al negocio del equipo en su contexto operativo sin hacer mantenimiento, el Tiempo Estimado Entre Fallas (ETBF) para el modo de falla que se está examinando, se debe determinar. El ETBF es definido como el tiempo estimado entre fallas si no se realiza mantenimiento. El no

mantenimiento en este contexto significa que el equipo se deja en servicio sin ninguna observación humana o intervención, es decir, un enfoque base cero. Dentro del RCM, el ETBF está basado en juicios de ingeniería.

- Evaluación de los efectos de la Falla: Este es uno de los pasos más importantes del proceso. Se hace una evaluación de los efectos de la falla, pero sin un juicio valorativo de las consecuencias de la falla. La valoración describe cualitativamente que efectos de cada modo de falla podría pasar sobre la función del sistema de proceso, personas, seguridad, ambiente, valor del activo, negocio, imagen corporativa y calidad de producto, etc.
- Este paso intermedio hace más fácil la cuantificación de las consecuencias de la falla en el siguiente paso del proceso RCM.
- Consecuencias de la Falla: El propósito en este paso es cuantificar las consecuencias de los efectos de la falla. Mediante la Matriz RAM, se determina las consecuencias de los modos de falla en el ámbito económico, Salud/Seguridad y Ambiente,
- Este impacto debe incluir todos los costos asociados con la falla, es decir, los costos operativos de detención de la unidad/sistema de proceso y su restauración a las condiciones originales de operación antes de la falla y los otros costos que pueden causarse tales como daños secundarios.
- Criticidad del modo de falla: La valoración de criticidad del modo de falla se realiza con la matriz RAM. La criticidad de un ítem es la máxima criticidad de las criticidades de todos los modos de falla.

La criticidad es usada para desarrollar el mantenimiento planeado (incluyendo inspección y pruebas).

2.1.1.3 Selección de las tareas de mantenimiento. Mediante una etapa de análisis funcional se determinan los requerimientos de mantenimiento de los activos en su contexto de operación y se plantean las estrategias de mantenimiento. Definidas las estrategias continua la etapa de implementación de las mismas, finalmente se deben hacer las auditorias de implementación para asegurar el éxito de todo el proceso.

En este paso se deben llevar a cabo las siguientes actividades:

- Selección de las potenciales tareas de mantenimiento: Dependiendo del modo de falla y su característica de falla, una tarea de mantenimiento apropiada y el intervalo que direcciona el modo de falla específico puede ser seleccionado. Sólo se consideran las tareas de mantenimiento que son efectivas. Una tarea de mantenimiento es considerada efectiva cuando incrementa el tiempo medio entre fallas. Si tal tarea es costo efectiva se considera en el siguiente paso. Si no se pueden encontrar tareas de mantenimiento proactivo para reducir el riesgo con consecuencias significativas en HSE a un nivel aceptable, el rediseño es obligatorio.
- Cualquier tarea de mantenimiento debe estar orientada hacia un modo de falla específico. Es el modo de falla y la característica de la falla quienes determinan la tarea de mantenimiento que se requiere para prevenir que ocurra una falla o al menos reducir sus efectos.
- Análisis Costo Beneficio: Las tareas de mantenimiento proactivo sólo son instituidas cuando el beneficio excede el costo de las tareas de mantenimiento proactivo. Se debe determinar si la tarea de mantenimiento proactivo es costo efectiva, estimando los costos para cada tarea de mantenimiento y posteriormente anualizarlos.

- Si una tarea de mantenimiento proactivo tiene un impacto en la disponibilidad de la unidad de proceso, el costo de esta oportunidad de pérdida debe ser incluido en el costo de la tarea de manteniendo proactivo. Un cuestionario específico, similar al utilizado cuando se determino la consecuencia económica, puede utilizarse como ayuda para cuantificar los diferentes elementos.

El total de los costos de las tareas de mantenimiento proactivo es llamado Precio de Conformidad, POC (Price of Conformance). El POC anual es calculado multiplicando el POC por la frecuencia anual de cada tarea. El total de los costos anuales de todas las tareas de mantenimiento proactivo para un modo de falla específico, se le refiere usualmente como el POC anual. El modelo de costo-beneficio usado en el proceso RCM compara la suma del riesgo anual y los costos con mantenimiento, contra el riesgo sin mantenimiento. Si el primero es más bajo que el último, las tareas de mantenimiento proactivo se consideran costo-efectivas en la mitigación de las consecuencias de la falla.

- Racionalización de las tareas: Se debe llevar a cabo una revisión y depuración de las tareas para definir el listado final de tareas.

Como requisito fundamental para lograr la implementación de las estrategias de mantenimiento, es importante la definición de los recursos materiales ó listas de partes necesarias en la ejecución del mantenimiento establecidas del RCM –APLS específicos (Listado de partes asociados). Entre las características fundamentales de dichos repuestos se encuentran:

- Criticidad
- Reemplazabilidad
- Accesibilidad
- tiempo de reposición

- costo de reposición
- variabilidad de la demanda.

Cuyos datos son fundamentales para la aplicación de modelos cuantitativo para la definición de las políticas de inventarios a los repuestos.

2.2 SISTEMAS DE INVENTARIOS

Un sistema de Inventarios es el conjunto de políticas y controles que regulan los niveles de inventarios y determinan que niveles se deben mantener, cuando se deben reabastecer existencias y cuál debe ser el volumen de los pedidos. El objeto básico del análisis de inventarios para conocer las existencias necesarias para la producción y los servicios es especificar: cuando se deben ordenar los artículos y cuál es el volumen de la orden.¹⁵

El objetivo final de cualquier modelo de inventarios es el de dar respuesta a preguntas como: ¿Qué cantidad de artículos deben pedirse? y ¿Cuándo deben pedirse?, para esto, existen distintos modelos que dan por resultado una gran variedad de opciones de pronóstico con base en la demanda histórica, expectativas futuras, variabilidad en los tiempos de reposición, grado de conocimiento acerca de la demanda futura, magnitud y distribución del error de pronóstico y nivel de servicio requerido.

2.2.1 Inventario de repuestos. Un almacén de mantenimiento está compuesto por lo general repuestos, existencias de mantenimiento normal y herramientas, las cuales necesita para llevar a cabo sus actividades.

¹⁵ CHASE, Richard B., JACOBS, F. Robert y AQUILIANO, Nicholas J. Administración de la Producción y operaciones. Decima edición. México D.F. McGrawHill, 2004, Pág. 416.

Los repuestos son aquellos activos físicos que hacen parte de los inventarios para el soporte de las operaciones de la empresa. Por lo general, presentan altos costos de almacenamiento cuando se tienen y su ausencia puede generar un gran impacto en los costos de disponibilidad de los equipos.

La problemática de los repuestos es en general la siguiente:

- Costo unitario alto.
- Tiempo de consecución alto.
- Rotación de inventario Lenta.
- El consumo es aleatorio.

Para solucionar este tipo de problemas se hace necesario llevar a cabo una gestión de inventarios que involucre:

- Control de las unidades instaladas en planta.
- Control de existencias.
- Control de requisiciones.
- Realizar registros históricos de consumo.
- Actualización constante de listado de proveedores, tiempos de entrega, acuerdos de precios, etc.

2.2.2 Análisis ABC de inventarios. Esta metodología consiste en organizar los repuestos según las cantidades totales usadas y al precio de las mismas, estableciendo el concepto de modo económico que representa el consumo durante un periodo de tiempo. Obteniendo según Ballou que el 20% de las cantidades representa un 80% de los costos.

Los pasos a seguir para la realización de este análisis son:

- Seleccionar un periodo de tiempo para la administración de Inventario, por lo general un año.

- Determinar el costo de cada artículo como porcentaje del costo total del inventario.
- Ordenar los artículos en forma descendente de porcentaje del costo con relación al costo del inventario total.
- Graficar el porcentaje de artículos en el eje X y el porcentaje de su costo en el eje Y.

Determinar la clasificación ABC según las siguientes características:

- TIPO A: Son aproximadamente del 10% al 20% de los artículos totales, representan del 60% al 80% del costo total. Se debe mantener un excelente nivel de inventarios en todos los almacenes en los que se requiera.
- TIPO B: Son las referencias para las cuales se deben mantener niveles medios de inventarios. Representan del 20% al 30% de los artículos totales y del costo total de un 20% a 30%.
- TIPO C: Son aproximadamente del 60% al 80% de los artículos con un 10% o 20% de los costos totales. Para este tipo de artículos no se deben mantener buenos márgenes de inventarios, se piden cuando se requieren.

2.3 CLASIFICACIÓN DE REPUESTOS POR CRITICIDAD

Para mejorar el manejo y gestión de los inventarios una vez realizado el análisis ABC, es necesario llevar a cabo una caracterización que consiste en la reclasificación de los repuestos según la criticidad o el riesgo y en función de las características que cumplen dichos repuestos en el mantenimiento de los equipos.

Los criterios a considerar son los siguientes:

- Impacto que genera su ausencia en el desarrollo del mantenimiento en los equipos.
- Costos del repuesto.
- Frecuencia del mantenimiento, entre otras variables.

La clasificación de los repuestos según criticidad o el riesgo puede ser:

K –CRÍTICO: Alto impacto en la operación y la productividad, su falta puede generar alto lucro cesante y/o daños a las personas, medio ambiente, instalaciones ó imagen de la empresa.

E-ESNCIAL: Alto impacto para la operación y la productividad, pero puede ser reemplazado sin afectar los niveles de productividad esperados. Representa moderados riesgos para las personas, instalaciones, el medio ambiente o la imagen de la empresa. Buena disponibilidad

S – SOPORTE: Bajo impacto en la operación y la productividad, forma parte de casi todos los subprocesos que soportan la operación, son de fácil consecución debido a su baja complejidad técnica. Representa bajos riesgos para las personas, medio ambiente e instalaciones.

U – NO STOCK: Reposición bajo responsabilidad del usuario. No se mantiene inventario en la bodega; Debe estar presupuestado en el PXQ y su gestión de compra solo se realiza mediante solicitudes de bodega debidamente planeadas.

Para las referencias críticas (K, E ó S) deben estar disponibles en almacén de repuestos. Una vez se agota el inventario establecido y llega al punto de reorden, se solicita nuevamente para completar el nivel deseado a mantener. El tiempo de entrega del proveedor es mayor al tiempo de falla del equipo.

Los repuestos clasificados como U, solo se piden al proveedor o el fabricante cuando son solicitados para el mantenimiento. Son repuestos de escasa demanda o muy costosos que no generan consecuencias negativas al no mantenerlos en stock o que su uso es planeado o programado. El tiempo de entrega por parte del proveedor es menor que el tiempo de falla del equipo.

Para determinar esta clasificación los materiales deben ser evaluados con las herramientas como la Matriz de Valoración de Riesgos RAM y la Matriz de Gerencia de suministro para identificar su riesgo para el negocio ante los efectos sobre los procesos productivos (costos), ante la seguridad y la salud de las personas (HSE), ante el medio ambiente, ante la imagen de la empresa y ante la complejidad del mercado abastecedor.

Dicha clasificación los repuestos no es estática, puede de ser modificada al presentarse variaciones en las condiciones operativas y del mercado. Una vez se realizan las evaluaciones respectivas para cada ítem de acuerdo a cada Matriz, se determina la criticidad o clasificación de los repuestos así:

Tabla 2. Clasificación de los Repuestos según criticidad

MATRIZ VALORACIÓN DE RIESGOS	MATRIZ DE GERENCIA DE SUMINISTRO	MATRIZ DE POSICIÓN DEL ABASTECIMIENTO	CLASIFICACIÓN
VH, H, M	ALTO	ALTO	K
M	ALTO	CUELLO BOTELLA	E
L	BAJO	RUTINARIOS	S
L Ó N	BAJO	NO NECESARIOS	U

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1 Clasificación de los Repuestos según criticidad

2.3.1.1 Evaluación matriz de valoración de riesgos-RAM. El riesgo es definido como la probabilidad de ocurrencia de un peligro definido y la consecuencia de ese peligro. El termino criticidad es usado para denotar el riesgo inicial, es decir el riesgo cuando los efectos del mantenimiento es omitido.

La metodología de la matriz de valoración de riesgos (RAM) se debe utilizar como herramienta de decisión para el manejo de riesgos que impliquen consecuencias para las personas, el ambiente, los clientes, los bienes y la imagen de ECOPETROL S.A¹⁶.

La Matriz de Evaluación de Riesgos RAM Figura 15 es una herramienta para la evaluación cualitativa de los riesgos y facilita la clasificación de las amenazas a la salud, seguridad, medio ambiente, relación con clientes, bienes e imagen de la Empresa. Los ejes de la matriz según la definición de riesgo corresponden a las consecuencias y a la probabilidad.

Para determinar el nivel de las consecuencias se utiliza una escala de "0" a "5"; para evaluar la probabilidad se utiliza una escala de "A" a "E", basándose en la experiencia o evidencia histórica en que las consecuencias identificadas se han materializado dentro de la industria, la empresa o el área; representa la probabilidad de que se desencadenen las consecuencias potenciales o reales estimadas, según el caso. El cruce de las dos escalas determina la evaluación y clasificación cualitativa del riesgo.

La Matriz RAM para estimar la probabilidad y las consecuencias no es una ciencia exacta. La estimación de la consecuencia se basa en la respuesta a "qué ocurrió"

¹⁶ Uso De La Matriz de Valoración de Riesgos – RAM Fecha Consulta: 10 Febrero 2011 [En internet]: <http://sidoe1.ecopetrol.com.co/MotroV2/consulta?accion=verDocs&jd=85204>

o “qué pudo o podrá ocurrir”; mientras que la estimación de la probabilidad se basa en información histórica respecto de casos ocurridos anteriormente en similares condiciones, sabiendo que las circunstancias nunca son exactamente las mismas.

Para hallar la criticidad de los equipos analizados primero se estima la probabilidad del modo de falla analizado, el RCM usa el tiempo estimado entre fallas (ETBF) como una medida de probabilidad, la cual considera los siguientes aspectos:

- No mantenimiento.
- Independiente de Inspección y
- Fallas no reveladas de la función de protección.

La criticidad está relacionada con el modo de falla, es decir, para cada modo de falla importante, se determina una probabilidad de falla y una consecuencia. Tres categorías de consecuencia pueden ser consideradas para un modo de falla: económico, salud/seguridad y ambiente. El peor escenario determina la clase de consecuencia general aún si el valor en cada categoría es igual. .

La criticidad está relacionada con el modo de falla, es decir, para cada modo de falla importante, se determina una probabilidad de falla y una consecuencia. Tres categorías de consecuencia pueden ser consideradas para un modo de falla: económico, salud/seguridad y ambiente. El peor escenario determina la clase de consecuencia general aún si el valor en cada categoría es igual. .

Para determinar la valoración de las consecuencias se tiene en cuenta la descripción de la planta, analizando información de cada uno de los equipos, dimensiones, materiales, datos del proceso como temperaturas y propiedades de fluidos, gases, entre otros. Con los que resulta la clasificación de las

consecuencias potenciales de cada modo de falla según las características propias de cada equipo.

La criticidad de los modos de falla del ítem es entonces determinado por la intersección de la fila pertinente de probabilidad y la columna de consecuencia en la Matriz RAM. Un ítem puede tener múltiples criticidades, una por cada modo de falla.

Figura 15. Matriz de Valoración de Riesgo HSE.

MATRIZ DE CRITICIDAD										
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
					A	B	C	D	E	
Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o más fatalidades	Catastrófica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: ECOPETROL S.A.

La criticidad es por lo tanto estática y no cambia por las tareas que resultan de esta evaluación. En realidad estas tareas buscan reducir el riesgo inicial, el cual es igual a la criticidad para un nivel aceptable (riesgo residual). Generalmente, entre más alta sea la criticidad, mayor es el esfuerzo necesario para reducir ese riesgo.

Una criticidad intolerable (X) no puede ser aceptada como un riesgo inicial (a menos que pueda ser suficientemente reducido por las tareas proactivas de mantenimiento) y por lo tanto conlleva a una recomendación de rediseño.

2.3.1.2 Matriz de gerencia de suministro. La Matriz de Gerencia de Suministro es una herramienta que le permite a la organización desarrollar la cadena del ciclo del suministro teniendo en cuenta el impacto en la operación, la complejidad del mercado y el riesgo asociado. Involucra el análisis de los siguientes elementos: Factor Crítico para la Adquisición, Estrategia Comercial, Selección Objetiva de Oferentes, Estrategia para la Administración de Inventarios, y Elementos para obtener el Mejor Negocio.

Donde se obtiene una clasificación de los productos en 4 tipos que son¹⁷:

- *Productos Rutinarios:* Para los grupos posicionados en este cuadrante, la estrategia propuesta sería la búsqueda de mercados fáciles, la simplificación de los procesos administrativos, la estandarización y reducción de referencias, reducir el número de proveedores, y la búsqueda de sistemas de contratación que agilicen el proceso. Lo más importante en este cuadrante es reducir costos.
- *Productos Cuellos de Botella:* en este cuadrante, hay que garantizar el suministro, reduciendo la dependencia a proveedores únicos. ya sea haciendo contratos a largo plazo o teniendo varios proveedores.
- *Productos Apalancados:* como estos productos ya son más críticos en la empresa, la estrategia utilizada es reducir costos, comprándole más a un proveedor o haciendo más competitiva la lucha entre ellos.

¹⁷ La Matriz de KRALJIC [en línea]. Fecha de Consulta: 15 de mayo de 2010. Disponible en: unitecupvlogistica2010napr.wordpress.com/2010/07/08/la-matriz-de-kraljic

Figura 16. Matriz de Gestión de Suministro.

MATRIZ DE GERENCIA DEL SUMINISTRO

I M P A C T O E N O P E R A C I O N	A L T O	M, H	Frecuente consumo Esenciales	Alto Costo	Alto Volumen	H, VH	Critico Estratégico	Alto Costo	Bajo Volumen		
		FCA	Precio Competitivo				FCA	Ciclo de vida, normas técnicas			
		MN	\$, Normas, servicio pos venta				MN	Tecnología			
		EC	Proveedores cercanos a la operación, locales, nacionales				EC	Acuerdos de largo plazo, resultado final, valor agregado			
		SO	Directa / Cerrada / Precalificación / Tarifas y acuerdos de precio				SO	Directa / Cerrada / fabricantes, distribuidores exclusivos, especialistas			
	EI	Nivel de servicio 85 - 90 %				EI	Nivel de servicio 95 - 100 %				
	B A J O	L, N	Frecuente consumo Soporte	Bajo Costo	Alto Volumen	H, VH	Especial	Alto Costo	Bajo Volumen		
		FCA	Eficiencia administrativa				FCA	Cumplimiento de especificaciones y normas			
		MN	Oportunidad suministro, costo				MN	Tecnología, precios del mercado			
		EC	Alto volumen, una sola negociación Distribuidores regionales- locales				EC	Diseño conjunto con Proveedores de tecnología y especificaciones			
SO		Abierta / precalificación / Tarifas y acuerdos de precio				SO	Directa / Cerrada / fabricantes / Distribuidores exclusivos				
EI	Minimizar inventarios				EI	Nivel de servicio 95 - 100 %					
BAJO					ALTO						
COMPLEJIDAD DEL MERCADO											

DEFINICIONES

FCA: Factor Critico de Adquisición
 MN: Mejor Negocio
 EC: Estrategia Comercial
 SO: Selección Oferentes
 EI: Estrategia de Inventarios

M: Riesgo Medio
 H: Riesgo Alto
 VH: Riesgo Muy Alto
 L: Riesgo Bajo
 N: Riesgo Muy Bajo

Fuente: Ecopetrol S.A.

- *Productos Estratégicos:* Estos son los más importantes a la hora de la compra y al mismo tiempo los más riesgosos. Lo ideal sería garantizar precios más cómodos haciendo alianzas estratégicas con los proveedores, que aseguren buena calidad a un buen precio.

2.3.1.3 Matriz de posición del abastecimiento. Esta Matriz Figura 17 es la herramienta que permite determinar la estrategia de abastecimiento apropiada de acuerdo con el producto o servicio que es necesario proveer.

Ecopetrol S.A. apoya su estrategia de compras y contratación en el análisis de Mercado o Inteligencia de Mercado. Este trámite permite revisar la estructura, las características y las tendencias del mercado de bienes y/o servicios, así como,

identificar los segmentos que representan la mejor oportunidad y/o el menor riesgo, conocer nuevos productos y/o servicios y comprender las diferentes condiciones y/o limitaciones relacionadas con la provisión de bienes y servicios.

Figura 17. Matriz de Posición del Abastecimiento.

MATRIZ DE POSICIÓN DE SUMINISTRO

	VALOR DE COMPRA	
	BAJO	ALTO
I M P A C T O	ALTO Cuello de botella	ALTO Críticos
	BAJO Rutinario	BAJO Apalancamiento

Fuente: Optimización de inventarios de repuestos ACEIM [Daniel Ortiz Plata]

2.3.2 Análisis de costos. La existencia de inventarios Los costos básicos asociados a los inventarios son:

- Costo unitario: Costo adquisición del producto.
- Costo de Comprar: costo asociado con la adquisición del producto o grupo de productos, involucra costos como: el de toma de decisión de compra, recepción de los artículos, inspección de artículos, entre otros.
- Costo de Tener: Incluye todos los costos en los que se incurre por el hecho de mantener artículos almacenados, incluye costos de instalaciones de almacenaje, manejo, seguros, hurto, obsolescencia, entre otros.

- Costo de escasez o agotamiento: costo proporcional a las ventas perdidas, o en este caso al costo en que se incurre debido a la ausencia del funcionamiento del equipo.

2.3.3 Modelo de política de inventarios. El principal objetivo en el control de inventarios es determinar el costo mínimo de un sistema de inventarios. El modelo de Lote económico de pedido determina las cantidades de inventarios económicamente factibles para una empresa.

El modelo considera los siguientes supuestos:

- La demanda es uniforme y conocida.
- El costo del artículo no varía con el tamaño del pedido.
- Los pedidos completos se entregan en el mismo tiempo.
- El tiempo de entrega es conocido.
- El costo de hacer y recibir un pedido es el mismo independientemente del tamaño del pedido.
- El costo de mantener inventario es una función lineal del número de artículos en existencias.

Ecuación:

$$T_c = CD + S \frac{D}{Q} + I_c \frac{Q}{2}$$

Ecuación 1. Costo óptimo política de Inventarios

Donde,

T_c = Costos Total anual del Inventario.

C = Costos unitario.

D= Demanda anual de los repuestos, en nuestro caso corresponderá al consumo promedio estimado para dichos materiales.

S= Costo de Ordenar

Q= Tamaño del pedido para reaprovisionar el inventario.

I_c= Costo de mantener inventario.

Para hallar Q, se debe aplicar la siguiente ecuación 2:

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

Ecuación 2. Cantidad Óptima a Pedir.

El tiempo óptimo entre pedidos es:

$$T^* = \frac{Q^*}{D}$$

Ecuación 3. Tiempo óptimo entre pedidos.

Y el número óptimo de veces por año para realizar pedidos es:

$$N = \frac{D}{Q^*}$$

Ecuación 4. Número de veces anuales para realizar pedidos.

2.3.4 Nivel de servicio e inventario de seguridad. El Inventario de seguridad son aquellos existencias que se utilizan para prevenir faltantes debido a variaciones inesperadas de la demanda. Por otro lado, el nivel de servicio es el

porcentaje del tiempo en que un artículo se encontrará en existencias cuando se solicite.

La cantidad determinada para el inventario de seguridad, cubre contra las posibles rupturas del inventario causadas por los incrementos en la demanda debidos a la variabilidad de la misma. Este factor proviene de la distribución de probabilidad Normal y es el resultado de incrementar la desviación estándar asociada con el nivel de servicio deseado.

Po lo general, las empresas mantienen ciertas existencias de seguridad para hacer frente a una demanda mayor que la esperada. Estas reservas se crean para amortiguar los choques o situaciones que se crean por cambios impredecibles en las demandas de los artículos.

La existencia de seguridad de inventarios es un [precio](#) que pagan las empresas por incrementar sus niveles de servicio y así cumplir con las expectativas del cliente.

2.3.5 Modelos de reaprovisionamiento. En los modelos de Reaprovisionamiento continuo el inventario se controla continuamente y el pedido se realiza en el momento en el que los niveles de inventarios descienden a un punto de pedido. Entonces en este momento se lanza el orden con la cantidad a óptima a pedir.

En el caso de el modelo de reaprovisionamiento periódico se lanza una orden de pedido cada cierto tiempo previamente definido. La cantidad a Pedir es la que restablece un cierto nivel máximo de existencias. Este modelo tiende a utilizarse cuando existen demandas reducidas de muchos artículos y es conveniente unificar las solicitudes de varios de ellos, esto con el fin de reducir costos de pedidos u obtener descuentos por volumen.

2.4 OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS DE REPUESTOS

El objetivo principal del área de mantenimiento en las empresas, es asegurar la confiabilidad de los activos de la organización, factor importante en la competitividad de la compañía, es por esto, que la definición de la cantidades de repuestos basados en modelos cuantitativos y teniendo en cuenta el impacto operacional debido a la ausencia de los mismos, son la tarea principal de los administradores de inventarios.

Según Daniel Ortiz¹⁸ los elementos Claves para una efectiva optimización de inventarios como se muestra en el Figura 18 Construyendo un nivel de inventarios de Repuestos optimo.

Deben estar alineados con:

- Las políticas de la empresa
- Los sistemas de gestión
- El gerenciamiento de activos
- Los modelos de procesos
- La organización y el modelo de Liderazgo

A partir de estos criterios se busca definir los modelos adecuados de reposición y las políticas de gestión de inventarios de repuestos que permitan cumplir con las estrategias establecidas para los equipos.

En la actualidad, los almacenes o bodegas de las áreas de mantenimiento tienen una gran variedad de piezas, desde consumibles económicos utilizados de a miles

¹⁸ ACIEM [en línea]. Autor: Ortiz, plata Daniel. Optimización de inventarios de repuestos. Fecha de consulta: 11 agosto 2010. Disponible en: http://www.aciem.org/bancoconocimiento/C/Conf_Optimizaciondeinventariosderepuestos/OPTIMIZACION%20DE%20INVENTARIO%20DE%20REPUESTOS.pdf

por año hasta repuestos críticos de cientos de miles de dólares, que tal vez nunca se usarán a lo largo de la existencia de la planta.

Según Ellman sueiro¹⁹ hasta el 50% del valor de inventario puede consistir en repuestos que son utilizados a un ritmo de uno por año o menos e incluso, algunos repuestos con un valor de entre el 10% y el 30% del inventario, suelen permanecer en una estantería del almacén durante toda la vida de la planta.

Desde un punto de vista financiero, quizás estos repuestos jamás deberían haberse comprado, sin embargo, si no hubieran estado disponibles al ser requeridos, la empresa podría haber sufrido graves consecuencias económicas.

RCS –Reliability-Centered Spares o Repuestos Centrados en Confiabilidad– es un proceso sistemático y estructurado que se deriva directamente de la filosofía del RCM –Reliability-Centered Maintenance o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad–. Como tal, brinda una base racional para la optimización de los inventarios de repuestos críticos.

El RCS no toma en cuenta las recomendaciones del proveedor ni el juicio subjetivo del área de ingeniería, sino el análisis sistemático de las consecuencias del faltante. O lo que es lo mismo, qué sucede si un repuesto no está disponible cuando es requerido.

La gran mayoría de los faltantes tienen efectos económicos, no contar con el repuesto cuando es necesario cuesta dinero, ya sea por pérdida de producción o de ventas, multas, pérdida de calidad de producto y otros factores.

¹⁹ Ellmann, Sueiro y Asociados [en línea]. Repuestos Centrados en confiabilidad Fecha de consulta: 10 agosto 2010. Disponible en: <http://www.ellmann.net/la-empresa/herramientas/gestion-de-confiabilidad/gestion-de-confiabilidad-de-los-activos-fisicos/rcs-repuestos-centrados-en-confiabilidad.htm>

En estos casos, RCS utiliza el concepto de costeo por ciclo de vida para responder a la pregunta clave “¿Vale la pena comprar un repuesto determinado?”, y, ante una respuesta afirmativa, “¿Cuántos se deben comprar?”.

RCS selecciona la cantidad de repuestos que minimiza el costo total para la empresa. Este costo incluye tanto los de compra de los repuestos, almacenamiento, mantenimiento en inventario y financieros, como los costos en los que se incurre si no se tiene el repuesto cuando es requerido: son los llamados costos de indisponibilidad, que indican cuánto cuesta cada hora de espera del repuesto, compras de emergencia, fletes y otros.

El beneficio más inmediato y evidente de aplicar RCS a los repuestos críticos es que los niveles de stock parten directamente de los requerimientos de mantenimiento y operaciones. Como el método está basado en el análisis de las consecuencias, los requerimientos se logran con una inversión óptima en repuestos, que comúnmente genera un ahorro de entre el 30% y el 60% del valor de inventario según Sueiro²⁰, y logrando el cumplimiento en los requerimientos de producción, seguridad y medio ambiente.

En general, las ventajas de la aplicación de RCS son:

- Reducción de inventarios.
- Mayor disponibilidad de equipos.
- Mayor disponibilidad de planta.
- Eliminación de “almacenes ocultos”.
- Mejor conocimiento de los recursos necesarios.
- Mejor comunicación y comprensión entre ingeniería, operaciones y abastecimiento.

²⁰ Ellmann, Sueiro y Asociados [en línea]. Repuestos Centrados en confiabilidad Fecha de consulta: 10 agosto 2010. Disponible en: <http://www.ellmann.net/la-empresa/herramientas/gestion-de-confiabilidad/gestion-de-confiabilidad-de-los-activos-fisicos/rcs-repuestos-centrados-en-confiabilidad.htm>

- Justificación racional de las decisiones.
- Mejor comprensión de los requerimientos de los sistemas de inventario y mantenimiento.
- Creación de una relación más clara y beneficiosa con los proveedores.

Figura 18. Construyendo un nivel de inventarios de Repuestos óptimo.

Construyendo un nivel de inventarios de repuestos óptimo



Fuente: Optimización de inventarios de repuestos [Daniel Ortiz Plataf

3. DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRM

Actualmente los planes de optimización de inventarios que se han realizado en la GRM se han dirigido al control de los repuestos en excedentes de las Bodegas, cuyas cantidades no representan necesariamente a todos los repuestos requeridos en la ejecución de los planes de mantenimiento, sino que se han ido comprando según las necesidades de los usuarios y que no se han utilizado en su totalidad.

Aunque, se han llevado a cabo estos procesos, según el Informe de Gestión Financiera al Final del 2011 los valores de las Bodegas analizadas de la GRM son los mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de Bodegas GRM

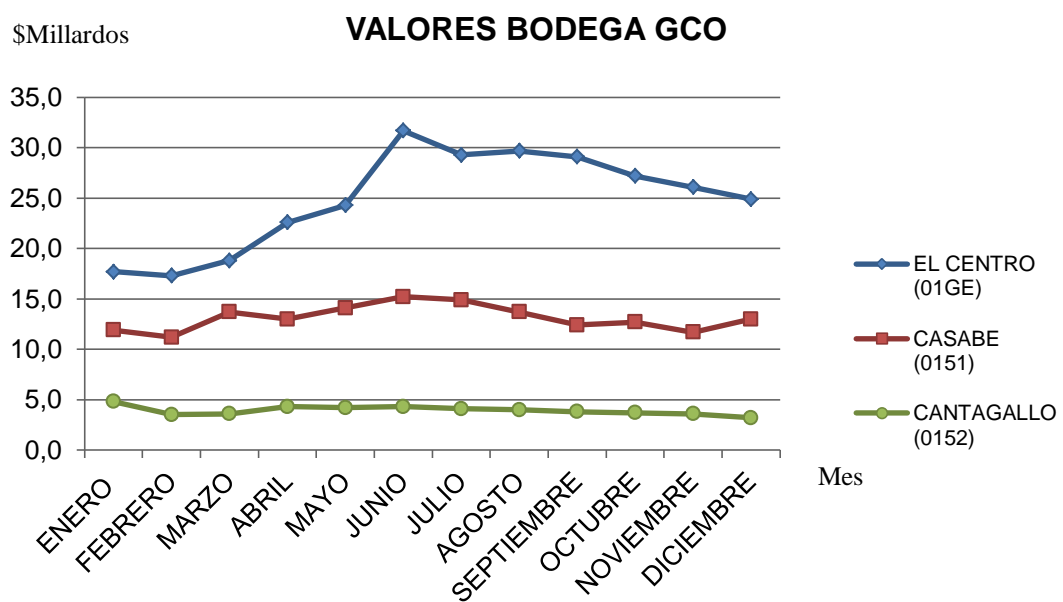
VALORES DE BODEGAS DE GASTOS GCO MILES\$COP				
BODEGAS	EL CENTRO (01GE)	CASABE (0151)	CANTAGALLO (0152)	TOTAL BODEGAS
ENERO	17,7	11,9	4,8	34,4
FEBRERO	17,3	11,2	3,5	32,0
MARZO	18,8	13,7	3,6	36,1
ABRIL	22,6	13,0	4,3	39,9
MAYO	24,3	14,1	4,2	42,6
JUNIO	31,7	15,2	4,3	51,2
JULIO	29,3	14,9	4,1	48,3
AGOSTO	29,7	13,7	4,0	47,4
SEPTIEMBRE	29,1	12,4	3,8	45,3
OCTUBRE	27,2	12,7	3,7	43,6
NOVIEMBRE	26,1	11,7	3,6	41,4
DICIEMBRE	24,9	13,0	3,2	41,1

Fuente: Informe Gestión Financiera SOM.

Como se puede observar en el gráfico 1, los valores de inventarios en las Bodegas son altos, lo que implica que hay una cantidad de capital de trabajo sin movimiento, que además genera unos gastos por conceptos de seguros de almacenamiento, impuestos, entre otros. De dicho inventario el área de mantenimiento tiene una participación en un 48%.

La gestión de los Inventarios de materiales actualmente se lleva a cabo mediante las percepciones empíricas, presunciones de supuestas o posibles fallas y requerimientos que en ocasiones son innecesarios, generando como consecuencia que las bodegas tengan grandes cantidades de capital invertido en repuestos destinados al mantenimiento que no se han utilizado ó que están a punto de ser obsoletos por la cantidad de tiempo que llevan en ellas.

Gráfico 1. Valores de las Bodegas GRM



Fuente: Elaboración Propia

El proceso de definición de políticas inicia con la evaluación de las criticidades para lo cual, los ADINES se reúnen directamente para establecer a criterio del

usuario dicha clasificación. Por lo que, se sesga este proceso a criterios empíricos, que aunque basados en la experiencia no se garantiza del todo la valoración del riesgo y otras características que se deben tener en cuenta para dicha definición.

La simulación de parámetros de reposición se realiza alimentando el software con información que se considera estandarizada y de la cual no se tiene muy claro de donde han salido dichas cifras, que como por ejemplo, los costos de mantener inventario y hacer pedido no han sido reevaluados en mucho tiempo, por lo que la definición de ROP, ROQ y Stock Mínimo no se deberían considerar los más ajustados a la situación real.

Es por esto que se convierte dicha simulación en un proceso rutinario y sin cuestionamientos que permitan un mejoramiento continuo en las actividades para el control de inventario.

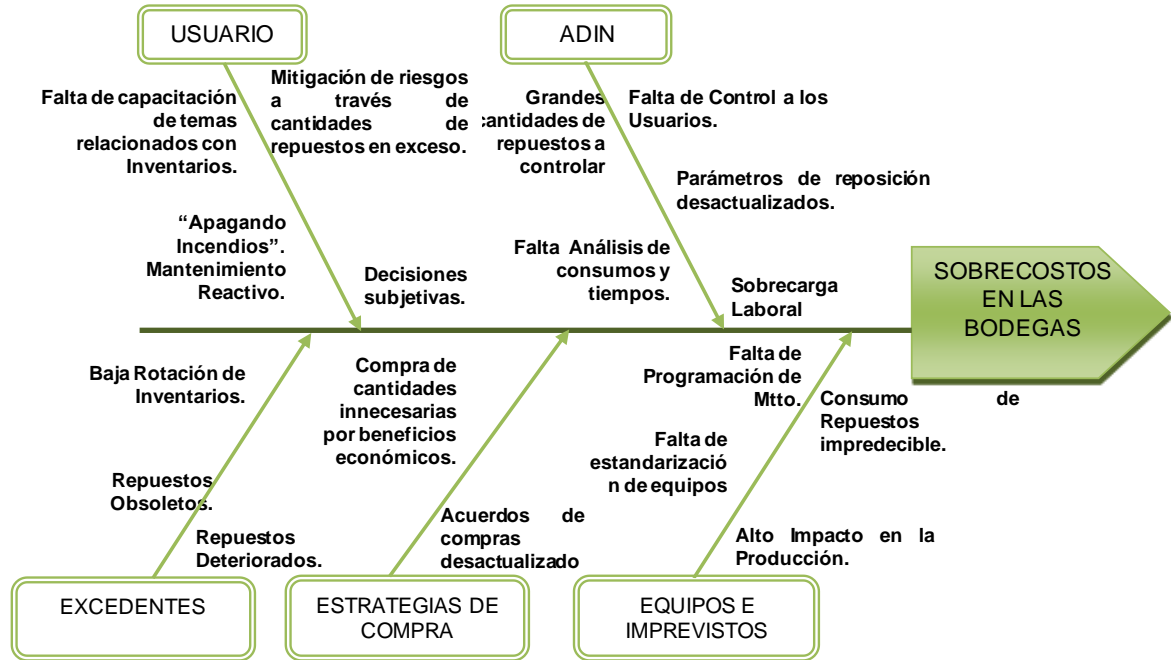
Adicionalmente, hay que mencionar que este proceso se realiza para un volumen de información de repuestos extenso, que puede llegar a ser difícil de controlar por las personas encargadas de la definición de parámetros, para cada una de las áreas de mantenimiento (Mecánico, eléctrico e Instrumentos) en las Superintendencias.

En vista que el control de inventarios puede llegar a ser tedioso, los ADINES cuentan con el soporte del Modulo de materiales que tiene el software CMMS ELLIPSE, y cuyos beneficios no son aprovechados al máximo, como por ejemplo las ordenes automáticas de pedido no son tenidas en cuenta.

Con el fin de realizar un diagnóstico inicial se contó con la opinión de participantes del proceso, realizándose reuniones con los Administradores de Inventarios de Ecopetrol-CIMA, un integrante del área de compras, usuarios finales, un

profesional de seguimiento y control, con el fin de identificar las principales causas obteniéndose el diagrama causa efecto que se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Diagrama Causa ‘Efecto Sobrecostos en las Bodegas.



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en el diagrama anterior, son muchos los factores que pueden llegar a afectar los costos de las Bodegas, y como se ha dicho anteriormente, con estos sobrecostos se termina afectando el capital de trabajo de toda la empresa. El recurso humano por ejemplo, está generando gran impacto en los inventarios, debido a la influencia de los criterios empíricos en la toma de decisiones, necesarias en el manejo de los mismos.

Existen varios aspectos a evaluar como lo son el descontrol, la mitigación del riesgo mediante la solicitud de grandes volúmenes de repuestos, la inestabilidad de la operación debido a las fallas de los equipos. Los cuales, con la implementación del RCM se pueden ver reflejadas las mejoras, ya que lo que se busca es mejorar la confiabilidad y eficiencia de los equipos mediante estrategias

de mantenimiento proactivas, y que una vez identificados los repuestos necesarios, se puede llegar a obtener un mejor control mediante políticas de inventarios que se ajusten a tales necesidades.

No obstante, es necesario que se complemente esta estrategia con la capacitación del personal en temas relacionados al manejo del inventario, con el fin de incentivar a la renovación de estos conceptos.

4. ANÁLISIS ABC DE INVENTARIOS

Un aspecto importante para el análisis y la administración de un inventario es determinar qué artículos representan la mayor parte del valor del mismo midiendo su uso en dinero y con esto determinar si justifican su consecuente inmovilización monetaria.

Para determinar la clasificación de los repuestos según el grado de importancia de los mismos se realizó el análisis ABC de los Inventarios en cada una de las bodegas. El cual se basó en la Ley de Pareto, que define la porción del número total de artículos, que es realmente significativa.

Este análisis se realizó para las bodegas relacionadas con las plantas y/o estaciones analizadas.

4.1 ANÁLISIS POR BODEGA

4.1.1 Análisis bodega Centro 01GE

Estación Nororiental

Estación Tres de Llanito

Estación San Luis

Estación Gala

Planta Deshidratadora Gala

Planta Deshidratadora la Cira

Planta Deshidratadora Galan

Estación Tesoro

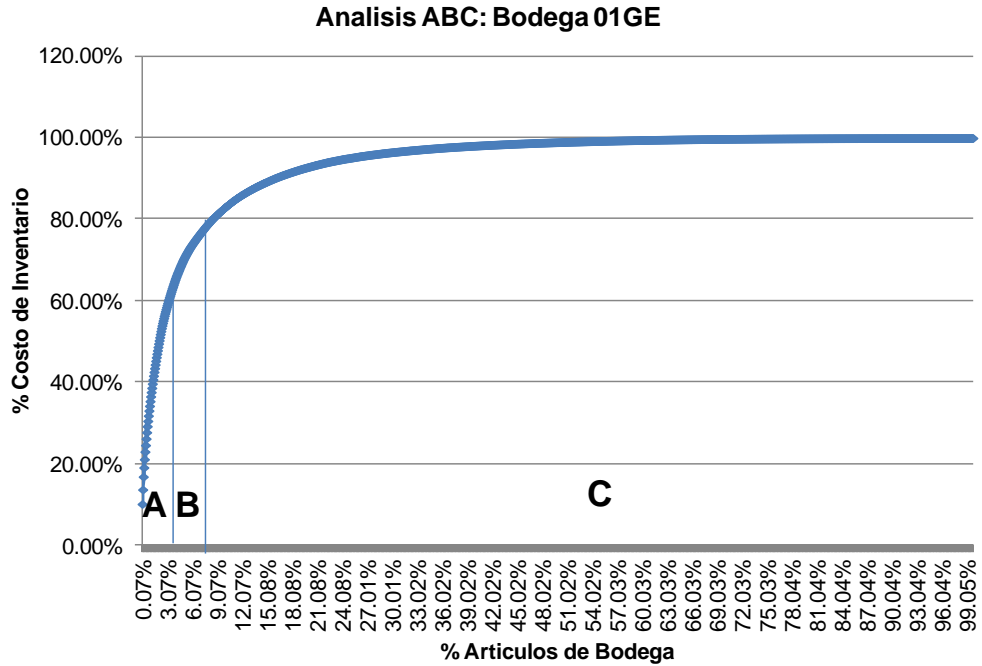
Con un total de 1466 repuestos los mantenimientos Mecánicos, eléctricos y de Instrumentación de estas Estaciones. Obteniéndose como resultado principal que 124 de los repuestos analizados representan un 80% del inventario total como se puede observar en el Gráfico 2.

ZONA A: se encuentra que 47 de los artículos analizados representan aproximadamente un 60% del costo del inventario. Es por esto que se fijaran como los más importantes a los efectos del control.

ZONA B: Se tomaron como los artículos de importancia secundaria en los que se encuentran 77 repuestos del total del inventario y representan un 20% adicional de los costos.

ZONA C: corresponde al mayor volumen de repuestos, pero cuyas demandas o costos no impactan en mayor proporción el Inventario, es por esto que los repuestos dentro de esta zona se clasificaran con respecto a la criticidad como Usuario (U).

Gráfico 2. Análisis ABC Repuestos 01GE.



Fuente: Elaboración propia.

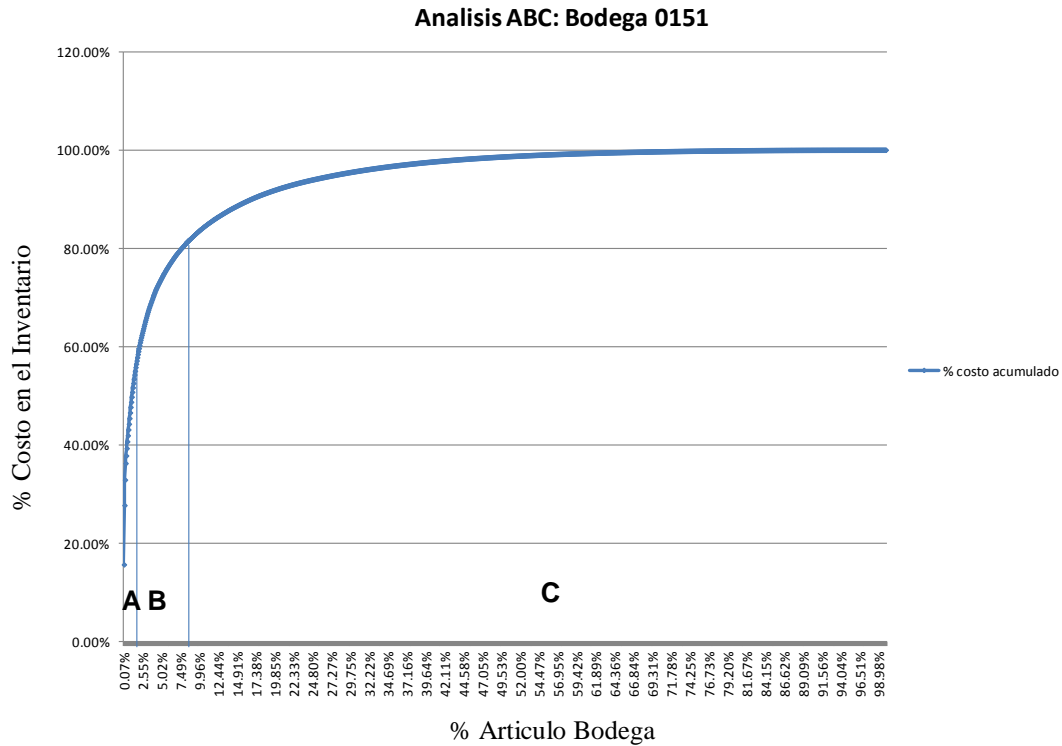
4.1.2 Análisis bodega Casabe 0151

Equipo de Workover y Varilleo SOR.

Tratamiento de Agua Casabe.

Para esta bodega se analizaron un total de 1375 repuestos requeridos en los mantenimientos Mecánicos, eléctricos y de Instrumentación de los equipos de esta planta y del equipo de Workover. Obteniéndose como resultado principal que 105 de los repuestos analizados representan un 80% del inventario total Gráfico 3.

Gráfico 3. Análisis ABC Repuestos Bodega 0151.



Fuente: Elaboración propia.

ZONA A: En esta zona se encuentran 29 de los repuestos analizados que corresponden al 60% de los costos de Inventario.

ZONA B: se encuentran 76 repuestos del total de Inventario los que tienen un impacto adicional del 20%.

En total en las zonas A y B son 105 repuestos un 7.64% del total de los artículos y cuyo impacto en los costos corresponden al 80%.

ZONA C: En esta zona está compuesta por los 1270 repuestos restante. Al no representar un alto impacto en los costos no serán tenidos en cuenta para el análisis de criticidades.

4.1.3 Análisis bodega Cantagallo 0152

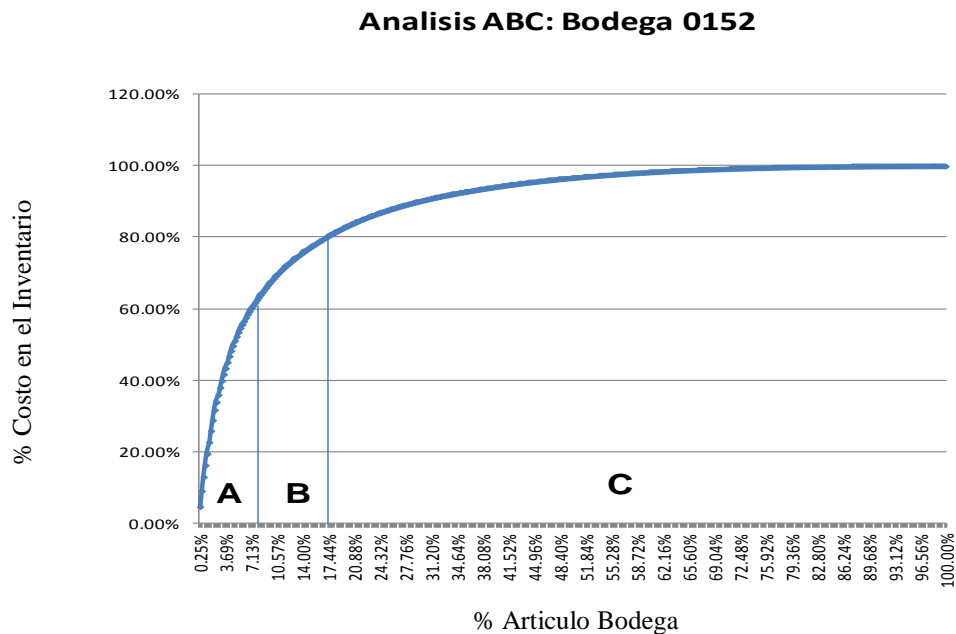
Estación Auxiliar de Cantagallo

En total se analizaron 407 repuestos que se requieren en los mantenimientos para los equipos Mecánicos, eléctricos e instrumentación. Grafico 4.

ZONA A: el 7.13% de los repuestos tienen un impacto del 60% de los costos. Es por esto que estos 29 artículos se fijaran como los más importantes a los efectos del control.

ZONA B: Se tomaron como los artículos de importancia secundaria en los que se encuentran 41 repuestos del total del inventario y representan un 20% adicional de los costos.

Gráfico 4. Análisis ABC Repuestos Bodega 0152.



Fuente: Elaboración Propia.

Con esto se encuentra que 17.20% de los repuestos analizados corresponden al 80% de los costos del Inventario, por lo que serán el objeto de análisis siguiente para definir una política de inventarios basada en un estudio económico de los mismos.

ZONA C: En esta Zona se encontraron 337 del total de repuestos, cuyos consumos no generan un alto impacto en el total del costo del Inventario.

4.2 ANÁLISIS TOTAL DEL INVENTARIO

Realizando un análisis del total de los repuestos necesarios en cada una de las plantas y/ o estaciones se encuentra en el gráfico 5. Se realiza este análisis con el fin de revisar la factibilidad que la gestión del inventario del total de las plantas de la Gerencia Regional del Magdalena medio se centralice en una sola bodega.

En total se analizaron 3144 repuestos para todas las plantas obteniéndose el siguiente gráfico ABC. En el que se puede observar que 251 repuestos representan el 80.05% de los costos de Inventarios de repuestos analizados.

A: se encuentra que 78 de los artículos analizados representan un 60% del costo del inventario. Es por esto que se fijarán como los más importantes a los efectos del control.

B: Se tomaron como los artículos de importancia secundaria en los que se encuentran 173 repuestos del total del inventario y representan un 20% adicional de los costos.

Para el análisis de este trabajo se tomarán en cuenta los repuestos de la zona A y B, que son los que impactan en un 80%, siendo estos los de mayor relevancia del inventario programado para las Bodegas.

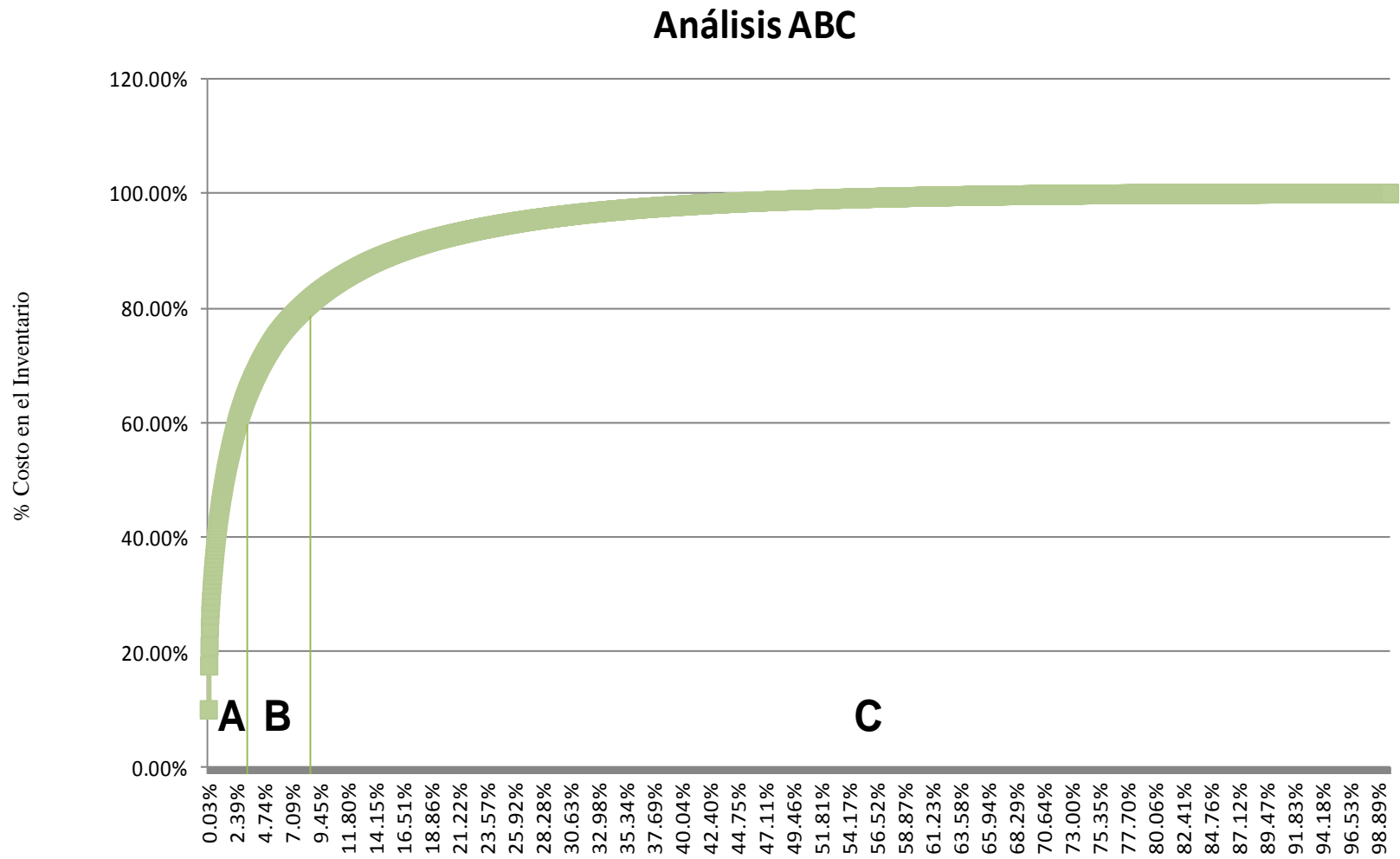
C: corresponde al mayor volumen de repuestos, pero cuyas demandas o costos no impactan en mayor proporción el Inventario, es por esto que los repuestos dentro de esta zona se clasificarán con respecto a la criticidad como Usuario (U).

En el anexo 1. Análisis ABC se encuentran los datos utilizados para este análisis.

Como uno de los objetivos de este proyecto es plantear la propuesta de centralizar el inventario en una bodega, y con esto realizar la gestión de los mismos, se analizaron en su totalidad los requerimientos de las bodegas, obteniéndose como principal resultado que de los 3144 repuestos, 136 corresponden a un 70% del costo de inventario total \$3,031,021,029.75.

Es por esto que se considera importante tener en cuenta esta propuesta para el beneficio económico de la GRM, ya que teniendo en cuenta el alto impacto de los mismos en sus estados Financieros.

Gráfico 5. Análisis ABC Inventarios Superintendencias SOM y SOR.



Fuente: Elaboración Propia.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS REPUESTOS

Una vez se identificaron los repuestos que requieren mayor control para el manejo de inventarios, se clasificaron estos según su criticidad.

Los repuestos encontrados en las zonas A y B en el análisis ABC de cada una de las bodegas, fueron sometidos a una reclasificación por el grado de criticidad, esta reevaluación fue realizada por personal técnico y operativo teniendo en cuenta la criticidad del equipo, características del mercado y suministro.

Las clasificaciones a obtener pueden ser las siguientes:

K –CRÍTICO: Definida en la RAM como VH , H o M en este último caso dependiendo del impacto en el equipo donde aplique. En la matriz de Gerencia de Suministro está clasificado como Alto Impacto en Operación y Alta Complejidad en el Mercado y en la matriz de posición del abastecimiento se clasifica como crítico. Su no disponibilidad tiene alta incidencia en el rendimiento de la operación y productividad esperada. El abastecimiento para stock se hará con base en los parámetros de nivel, cantidad y stock de seguridad.

E-ESENCIAL: En la RAM con valoración M. En la matriz de Gerencia de Suministro puede estar clasificado como Alto Impacto en Operación y Baja o alta Complejidad en el Mercado, así mismo, en la matriz de posición del abastecimiento se puede clasificar como cuello de botella o apalancamiento. Su no disponibilidad tiene mediano impacto en la operación básica, pueden ser remplazados sin afectar los niveles de productividad esperada pero bajo condiciones controladas de cambio de planta.

S – SOPORTE: Valoración en la Matriz RAM con valoración L , en la matriz de Gerencia de Suministro puede estar clasificado como Bajo Impacto en Operación y Baja Complejidad en el Mercado y en la matriz de posición del abastecimiento se puede clasificar como rutinarios.

En la realización de esta evaluación se encontró el siguiente caso, en el que se definió una clasificación debido a que algunos criterios no cumplían con las premisas anteriores:

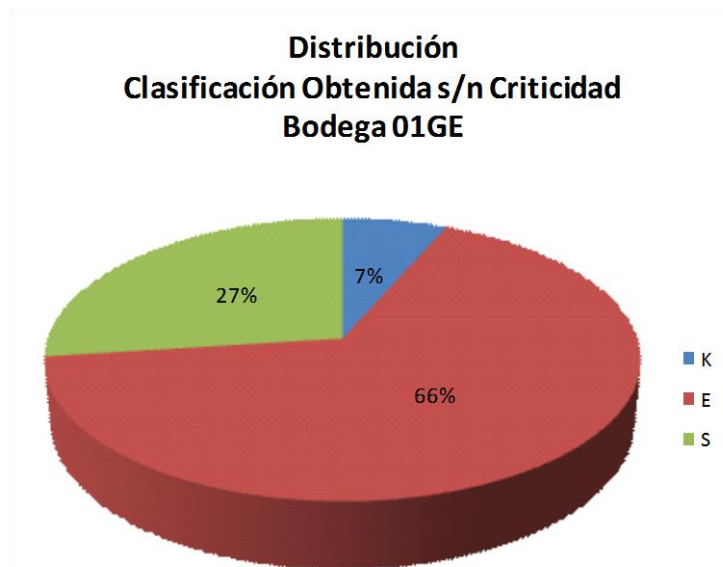
Evaluación del equipo en la Matriz RAM como baja (L), pero en la matriz de suministro como crítico y en la de posición del abastecimiento como crítica por lo que se definió que para estos casos se debía definir el repuesto como Esencial.

En el anexo 2. Evaluación de Criticidades se puede observar la evaluación de cada uno de los ítems.

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS BODEGA EL CENTRO 01GE

En el Grafico 6, se muestra la reclasificación de los 124 repuestos que conformaron las Zonas A y B en el análisis ABC, en donde el 66% se clasifica como repuestos Esenciales, un 27% como repuestos de Soporte y el 7% restante como Críticos.

Gráfico 6. Clasificación según Criticidad



Fuente: Elaboración Propia

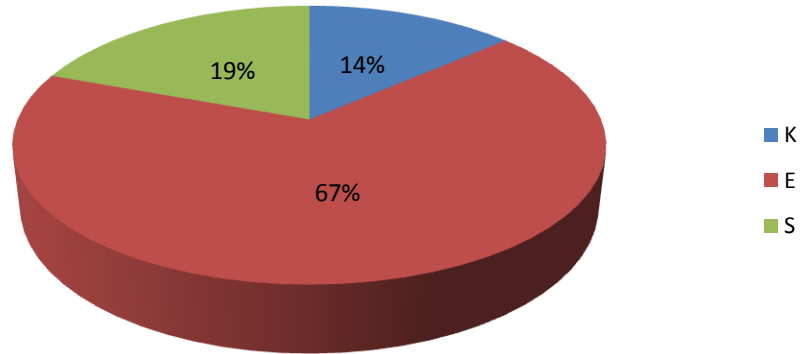
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS BODEGA 0151

Para los 103 repuestos que conformaron las Zonas A y B en el análisis ABC, se realizó la reclasificación según su criticidad Gráfico 7.

En este se puede observar que un 67% de los repuestos analizados según la evaluación de criticidad se clasifican como esenciales en la operación. Un 19% corresponden a materiales de Soporte y un 14% como Críticos.

Gráfico 7. Clasificación según criticidad Bodega 0151.

**Distribución
Clasificación Obtenida s/n Criticidad
Bodega 0151**

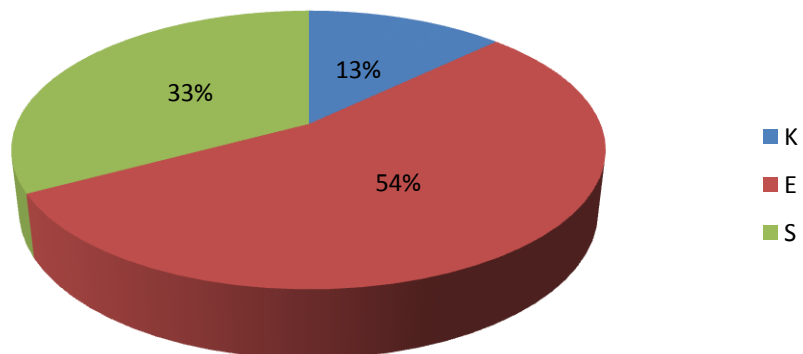


Fuente: Elaboración propia.

5.3 RESULTADOS OBTENIDOS BODEGA 0152

Gráfico 8. Clasificación según criticidad Bodega 0152.

**Distribución
Clasificación Obtenida s/n Criticidad
Bodega 0152**



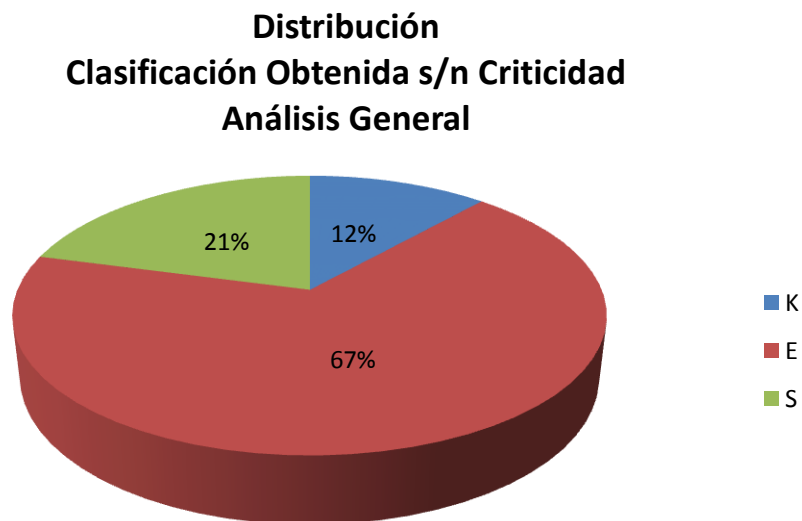
Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 8, se pueden observar las clasificaciones según la criticidad para los 70 repuestos que conformaron las Zonas A y B en el análisis ABC de esta bodega. Estos fueron reclasificados como un 54% Esenciales, un 33% como soportes y un 13% como repuestos Críticos.

5.4 ANÁLISIS TOTAL DEL INVENTARIO

El análisis para los repuestos que contribuyen en un 80% el costo total del Inventario analizado se encontró la siguiente distribución mostrada en el gráfico 9, para las clasificaciones obtenidas de la evaluación según criticidad.

Gráfico 9. Clasificación General de Repuestos.



Fuente: Elaboración propia.

De estos resultados se puede concluir que en general la mayoría de los repuestos analizados se clasifican como Esenciales, es decir, que estos repuestos tienen un alto impacto en la operación pero la complejidad de adquisición en el mercado no es tan alta.

6. ALGORITMOS DE REPOSICIÓN DE INVENTARIOS

6.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Para determinar los costos involucrados en el proceso de Compras se tuvo en cuenta cada una de las actividades involucradas en la adquisición de elementos en la Empresa. En donde se podrá observar un comparativo con los costos actuales que se tienen en cuenta para definir los parámetros de inventarios y los calculados a partir de información actualizada de costos. Esto, debido a que se pudo observar que los costos involucrados en la definición de inventarios no han hecho parte de un análisis detallado y se considera que no cubren con la totalidad que se involucra en los procesos.

6.1.1 Costo de hacer pedidos. De acuerdo con la información recibida por la Dirección de Abastecimiento de Bienes y Servicios de Ecopetrol S.A²¹., han definido el costo promedio de Comprar como un 0.78% del valor de la compra.

Actualmente el costo que se utiliza para la determinación de parámetros de reposición en el sistema Ellipse, está definido como \$200 para compras Nacionales y \$900 para compras Internacionales

Aunque se cuenta con estos datos establecidos por Ecopetrol en la Tabla 4, se pueden observar el análisis de costos realizado con el apoyo del área de Gestión Financiera de la GRM, teniendo en cuenta las duraciones aproximadas de las actividades involucradas en el proceso de Compra.

²¹ Proyecciones de presupuesto área de compras 2012 ECOPETROL S.A.

Es por esto que se recomienda una evaluación para recalcular este costo y así generar una estimación más cercana a la actualidad de la empresa. Pese a esta estimación fue recomendado que se realice el cálculo de los parámetros de reposición con los datos establecidos por Ecopetrol S.A.

Tabla 4 Costos Reales del Proceso de Compras.

Costo Actividad	Unidad	Costo (COP)	Costo Unitario (COP)	Descripción
AS-Abastecimiento	# Procesos	\$ 8,080,181.00	\$ 8,080,181.00	Costo por Procesar una Orden de Compra. Costo Fijo por Comprar.
Cargo Telefonía Celular	Mes	\$179,782.00	\$ 299.63	Costo por Cargo de telefonía de Celular.
Internet	Mes	\$30,854.00	\$428.53	Servicio de Internet, se calcula aprox. 10 hrs para cada gestión de la Orden
Cuenta Correo	Mes	\$30,222.00	\$1,007.40	Cuenta correo Electrónico para gestión con proveedores (día)
Licencia SAP	Mes	\$1,563,550.00	\$52,118.33	Costo Licencia SAP, se calcula por día
Licencia Ellipse	año	\$137,958.00	\$383.22	Se calcula costo/día
ADIN	Mes	\$ 8,954,054.00	\$ 298,468.47	Costo ADIN/ Día
Total			\$8,432,886.58	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de los costos incurridos en las principales actividades relacionadas en el proceso de compras y abastecimiento de Ecopetrol se encuentra que este costo asciende a 8,432, 886 COP.

6.1.2 Costo de mantener inventario. Dentro de las políticas de Ecopetrol S.A. se ha definido el costo de mantener inventario en un 25%, siendo este un dato aproximado y que ha sido estandarizado en la organización.

6.2 DEFINICIÓN DE POLÍTICAS DE INVENTARIOS

Se realizó el proceso de definición de políticas de inventarios teniendo en cuenta las evaluaciones de criticidad y los costos analizados aplicando el modelo Económico de pedido, con el fin de determinar cantidades óptimas de inventarios de los repuestos analizados.

6.2.1 Políticas de inventarios bodega el Centro 01GE. Las políticas de inventarios para los repuestos de esta bodega corresponde a un valor total de COP \$ 1,163,902,280.94 Como se pueden observar en el anexo 3 para los repuestos de esta bodega.

Actualmente los inventarios del área de mantenimiento para esta bodega están distribuidos como se muestran en la Tabla 5.

Por lo que se determina que con la aplicación de estas estrategias en la gestión de repuestos el inventario de materiales para el área de mantenimiento reduciría en un 76% su costo actual como se puede observar los resultados obtenidos en la Tabla 6.

Tabla 5. Clasificación de Tipo de Inventario para Mantenimiento.

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	VALOR	%
ELÉCTRICO	\$ 430,865,870.00	3%
INSTRUMENTOS	\$ 339,271,203.00	2%
MECÁNICA	\$ 4,156,947,496.00	30%
TOTAL INVENTARIO MANTENIMIENTO	\$ 4,927,084,569.00	36%

Fuente: Comité SOM 2012. ECOPELROL S.A.

Tabla 6. Costos Políticas de Inventarios 01GE

DESCRIPCIÓN	COSTO POLÍTICA (Anual)
TOTAL	\$ 1,163,902,280.94
TOTAL INVENTARIO ACTUAL	\$ 4,927,084,569.00
% REDUCCIÓN DE COSTOS	76%

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Políticas de inventarios bodega Casabe 0151. Para la bodega 0151 las políticas de inventarios de los repuestos corresponden a un valor total de COP\$ 2,244,238,550.34 En la tabla 7 se puede Observar cómo están distribuidos los inventarios según los tipos de mantenimiento a realizarse.

Tabla 7. Clasificación de Tipo de Inventario para Mantenimiento

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	VALOR	%
MECÁNICA	\$ 2,140,989,565.00	23
INSTRUMENTOS	\$ 678,672,534.00	5
ELÉCTRICO	\$ 661,454,312.00	5
TOTAL INVENTARIO MANTENIMIENTO	\$ 3,481,116,411.00	33

Fuente: Comité SOM 2012. ECOPETROL S.A.

Por lo que se determina que con la definición de las políticas de inventarios los costos anuales tendrían una disminución en un 36%, esto como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8. Costos Políticas de Inventarios 0151

DESCRIPCIÓN	COSTO POLÍTICA (Anual)
TOTAL INVENTARIO	\$ 2,244,238,550.34
TOTAL INVENTARIO / ACTUAL	\$ 3,481,116,411.00
REDUCCIÓN DE INVENTARIOS	36%

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.3 Políticas de inventarios bodega Cantagallo 0152. La definición de políticas de inventarios para los repuestos requeridos en las tareas de mantenimiento de la estación Auxiliar- Bodega 0152 se determino que el costo es de COP \$ 124, 048,517.81.

Este costo se va a comparar con un 15% del valor total de la bodega, que es lo que se determinó es el importe de esta estación en todo el inventario, como se puede observar en La Tabla 9.

Tabla 9. Costos Políticas de Inventarios 0152

DESCRIPCIÓN	COSTO POLÍTICA (Anual)
TOTAL INVENTARIO	\$ 124,048,517.81
VALOR TOTAL INVENTARIO MANTENIMIENTO	\$ 1,192,123,590.00
TOTAL INVENTARIO PARA LA ESTACIÓN	\$ 178,818,538.50
REDUCCIÓN DE INVENTARIOS	31%

Fuente: Elaboración Propia.

Es decir que con la definición de estas políticas se lograría una reducción del costo del inventario en un 31%.

En el anexo 3 se encuentran los cálculos detallados de cada una de las políticas definidas según los parámetros del modelo Económico de Pedido.

Analizando los resultados obtenidos en las políticas de estas bodegas se obtiene una reducción del 59% del valor total de los inventarios como se puede observar en la tabla 10.

Tabla 10. Cuadro comparativo Cifras actúales Vs Costos Políticas Propuestas

BODEGA	TOTAL INVENTARIO	TOTAL POLITICAS
EL CENTRO 01GE	\$ 4,927,084,569	\$ 1,163,902,280
CASABE 0151	\$3,481,116,411	\$2,244,238,550
CANTAGALLO 0152	\$178,818,539	\$124,048,517
TOTAL	\$8,587,019,519	\$3,532,189,347
% de Reducción		59%

Fuente Elaboración Propia.

6.3 EVALUACIÓN DE ALGORITMOS DE REPOSICIÓN EN CMMS ELLIPSE

La gestión del inventario de CMMS ELLIPSE figura 20, abarca un grupo de aplicaciones que se usan para dar mantenimiento a los registros de los bienes almacenados y para procesar el movimiento de productos hacia, a través de y desde los almacenes.

En el modulo de MSO 179 se ingresan la información de Costos, Consumos con el fin de obtener los resultados de cantidades óptimas y periodos de pedidos según el modelo elegido para la simulación.

Basados en esta herramienta se procedió a simular (ver Anexo 4), cada uno de los repuestos contemplados en las políticas de inventarios definida anteriormente con la que se obtienen las cantidades optimas a pedir según el software de gestión de inventario que actualmente utiliza ECOPETROL S.A. y cuya herramienta utilizan los administradores de inventarios en el esfuerzo de controlar las cantidades almacenadas en las bodegas.

Figura 20. Modulo Calcular Proyecciones MSO 179

Cód. de Stock: INC:

o: N° Parte:

General Padrón Uso

Algoritmo: Plazo Total (dias):

Nivel de Servicio: (%) Inventory Lead Time:

Alfa: Tiempo Entrega:

Costo Comprar: Por Comprar:

Costo Existens: (%) Demora por Flete:

Precio Unit: Suavizadores:

Calculado

Cons.promedio: MAD:

Pronostico Uso: Desv Estandar:

T/Signal (%): SS:

ROP: ROQ:

Costo Orden: Costo Almac:

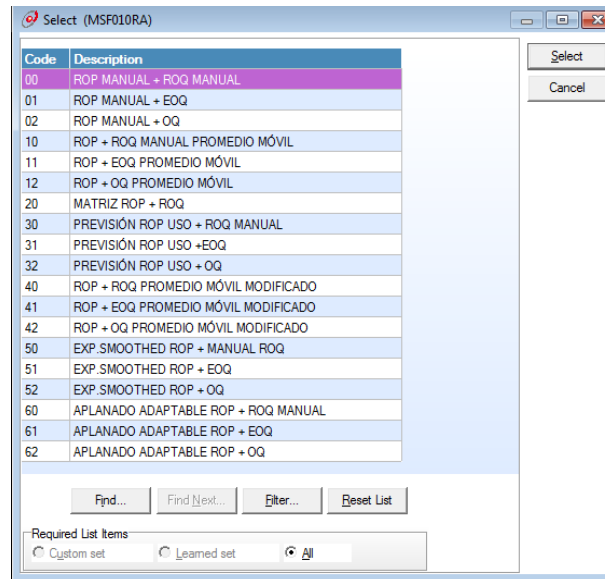
MSM179A ~ 0:0011 - ENTRADA REQUERIDA

Fuente: Mincom Ellipse

El sistema cuenta con diferentes tipos modelos Figura 11 para el cálculo de inventarios. La evaluación de los algoritmos de reposición se va a realizar frente al modelo 11 (ROP + EOQ Promedio Móvil) del sistema Ellipse, el cual es el basado bajo el modelo Económico de Pedido.

Con este modelo se encuentran las menores desviaciones a las cantidades halladas manualmente en los parámetros de modelo económico de pedido

Figura 21. Modelos para el Algoritmo.



Fuente: Mincom Ellipse

En las simulaciones de los algoritmos de reposición se encuentran los siguientes puntos importantes a tener en consideración.

- Los costos de utilizados actualmente en el seguimiento de inventarios están desactualizados.
- El modelo 11 de Ellipse, actualmente utilizado por los ADINES, se aproxima a las cantidades propuestas.

Con este último paso de verificación se realizaría la comprobación de las políticas propuestas.

CONCLUSIONES

Con la implementación de este proyecto se lograría disminuir el impacto del inventario del área de mantenimiento en un 59% de la GRM, y por ende se contribuiría beneficiosamente en los resultados de esta área en los planes estratégicos de la compañía.

Con la clasificación de repuestos según la criticidad e impacto que tengan los equipos, se obtiene una caracterización por importancia en el mantenimiento, lo que conlleva a centralizar esfuerzos en los que realmente generan impacto en las actividades.

Según las políticas de inventarios se podría garantizar la disponibilidad de los repuestos, contando con una buena administración y seguimiento a los mismos.

Los estudios RCM realizados en las plantas y estaciones de la Gerencia regional aportan información importante para la planeación de consumos de repuestos en el área de mantenimiento, es por esto que con la definición de políticas de inventarios y seguimiento en las bodegas se pueden obtener mejores tiempos de repuesta, disponibilidad de las máquinas y reducción de costos en los procesos.

La determinación de una demanda anticipada mejora la oportunidad de abastecimiento. Por lo que estas iniciativas pretenden desligar la negociación y establecimiento de las relaciones con los proveedores del ejercicio presupuestario e incrementar el trabajo colaborativo con los clientes internos.

RECOMENDACIONES

La administración de inventarios es una responsabilidad que no solo debe recaer sobre el ADIN, se debería concientizar a los usuarios en la priorización de requerimientos.

Realizar seguimiento a las rutinas de mantenimiento programadas en los equipos con el fin de actualizar cuando sea necesario, los consumos y requerimientos de los equipos para la administración de inventarios de repuestos, en la búsqueda de la reducción de costos en las bodegas.

Se requiere ejercer un poco más de control en el proceso de catalogación y creación de repuestos en Ellipse, ya que en la definición de listados de partes asociadas se encontraron repuestos repetidos dentro del catálogo del sistema generando una base de datos más compleja.

La estandarización de equipos reduce la variedad de repuestos para máquinas con las mismas características. Por ende, no se necesitarían mantener en bodegas tantos tipos de repuestos.

La centralización de los inventarios según los resultados obtenidos es una propuesta que se debería viabilizar, ya que según los análisis realizados y contando con la logística adecuada se podrían generar una reducción considerable de costos de inventarios sin sacrificar las disponibilidades de repuestos y equipos.

BIBLIOGRAFÍA

BALLLOU, Ronald H. Logística: Administración de la Cadena de Suministro. México: Pearson Educación, 2004.

BRICENO R., Edison Rolando; ONATE Z., Efrén Eduardo. Plan de Gestión De Inventarios, Repuestos e Insumos de Mantenimiento para Empresas Industriales. Tesis (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Bucaramanga Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2007.

CHASE, Richard; JACOBS, Robert; AQUILIANO, Nicholas. Administración de la Producción y Operaciones para una Ventaja Competitiva. México McGrawHill, 2006.

CONFIABILIDAD.net. En Internet: <http://www.confiableidad.net/>

CORPORACIÓN CIMA: Manual de Calidad. Bucaramanga, 2011.

DUFFUAA, [Salih O.](#); RAOUF, [A.](#); CAMPBELL, [John Dixon.](#) Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control. Limusa, 2005.

ECOPETROL S.A: En Internet: <http://www.ecopetrol.com.co>

ECOPETROL S.A. Procedimiento de Reposición de Inventarios de Materiales, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO, MANUAL DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, 2006.

LERMA, Héctor Daniel. Presentación de informes. El documento final de investigación. Primera edición. Bogotá D. C. Ecoe ediciones. Noviembre de 2003

[MAGEE, John F.](#); BOODMAN, David M. Planeamiento de la Producción y Control De Inventarios. Centro Regional de Ayudas. ATENEO, 1971

SLACK, Nigel. Administración de Operaciones. México: Cecs, 1999.

WEBINARIO: Gestión Confiable de Repuestos como componente de Gestión de Activos Físicos. En Internet [<http://confiabilidad.net/tutoriales/gestion-confiable-de-repuestos-como-componente-de-gestion-de-activos-fisico/>]