

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS DEL
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB- ECOPETROL S.A.**



MODALIDAD DE PROYECTO: PRÁCTICA EMPRESARIAL

AUTORES:

KAREN STEPHANY MENDOZA HERRERA

YARLYN LIZET SALAS BONILLA



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

2014

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS DEL
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB- ECOPETROL S.A.**



MODALIDAD DE PROYECTO: PRÁCTICA EMPRESARIAL

AUTORES:

KAREN STEPHANY MENDOZA HERRERA

YARLYN LIZET SALAS BONILLA

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director

EDWIN ALBERTO GARAVITO HERNANDEZ

Ingeniero Industrial

Tutor

ROSSVAN JOHAN PLATA VILLAMIZAR

Ingeniero Mecánico

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

2014

DEDICATORIA

A Dios ser supremo y creador, por haberme dado la vida, por escuchar siempre mis oraciones y por llenarme de tantas bendiciones.

A mi madre, Elizabeth Herrera, que con su amor, apoyo incondicional para extenderme su mano sin importar los sacrificios necesarios y ejemplo me ha dado la fuerza necesaria para luchar cada día de mi vida y así lograr cada una de las metas que me he propuesto, sin ella nada de esto sería posible, a ella le debo todo lo que soy.

A mi familia por ser muestra del amor verdadero y amigos cercanos por creer en mi y mis capacidades.

A mi amiga y compañera de proyecto, Yarlyn Salas, por apoyarme y compartir conmigo esta experiencia.

KAREN STEPHANY MENDOZA HERRERA.

DEDICATORIA

A Dios por regalarme la vida, por sus constantes e infinitas bendiciones,

A mis padres Nelson Salas P. y Trinidad Bonilla C. por su sacrificio,

dedicación , apoyo incondicional y sobre todo por su amor,

A mis hermanos por ser el ejemplo a seguir, por su apoyo,

por creer en mí y en mis capacidades.

Sin ellos nada de esto sería posible, a ellos les agradezco todo lo que soy.

A mis amigos cercanos por sus palabras de apoyo y fortaleza,

A mi amiga y compañera de proyecto, Karen Mendoza, por tenerme en cuenta

y compartir conmigo esta experiencia.

YARLYN LIZET SALAS BONILLA.

AGRADECIMIENTOS

Damos agradecimientos a todas aquellas personas que de una u otra forma apoyaron la realización del presente trabajo de grado, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible nada de esto.

Al Ingeniero Rossvan Planta, Tutor del proyecto, gracias por su orientación, acompañamiento y excelente disposición en el desarrollo de la práctica y ejecución del proyecto.

Al ingeniero Edwin Garavito Hernández, Director del proyecto, por orientarnos en el camino a la formación profesional.

A Heriberto, técnico mecánico del Taller de Máquinas de la GRB, por toda su colaboración y apoyo a lo largo de todo el proyecto.

A Luis Fernando Martínez, Supervisor del Taller de Máquinas de la GRB, por todos los aportes realizados al proyecto.

Agradecemos a todo el grupo de trabajo que conforma el Departamento de Mantenimiento de la Refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A por brindarnos tantas enseñanzas y experiencias, las cuales fueron un gran aporte para nuestro desarrollo profesional como Ingeniera Industrial.

Karen Stephany Mendoza Herrera

Yarlyn Lizet Salas Bonilla

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | |
| 2. TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS | 18 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 20 |
| 4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO..... | 30 |
| 5. OBJETIVOS..... | 31 |
| 5.1 OBJETIVO GENERAL | 31 |
| 5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 31 |
| 6. RESULTADOS ESPERADOS..... | 32 |
| 7. MARCO DE REFERENCIA | 33 |
| 7.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA | 33 |
| 7.1.1 Reseña Histórica..... | 33 |
| 7.1.2 Tamaño de la empresa | 35 |
| 7.1.3 Marco estratégico | 37 |
| 7.1.4 Cultura Organizacional..... | 38 |
| 7.2 MARCO TEÓRICO | 40 |
| 7.2.1 Mantenimiento | 40 |
| 7.2.2 Historia y Evolución del Mantenimiento | 41 |
| 7.2.3 Mantenimiento Centrado En Confiabilidad..... | 45 |
| 7.2.4 Teoría y Fundamento Básicos Del RCM..... | 46 |
| 7.2.5 Etapas del Proceso RCM..... | 48 |
| 7.2.6 Aplicación del Proceso RCM..... | 65 |
| 8. CONOCIMIENTO DEL TALLER DE MÁQUINAS DE GRB | 67 |
| 8.1. GENERALIDADES | 67 |
| 8.2 PROCESO DE EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ROTATIVOS EN EL TALLER DE MÁQUINAS. | 69 |
| 9. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD TALLER DE MÁQUINAS - DPTO DE MANTENIMIENTO – GRB | 73 |
| 9.1 LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS | 74 |
| 9.1.1. Alesadora..... | 74 |
| 9.1.2. Balanceadora..... | 75 |
| 9.1.3. Fresadora Universal..... | 76 |
| 9.1.4. Limadora | 77 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1.5. Mortajador..... | 78 |
| 9.1.6. Torno Vertical..... | 79 |
| 9.1.7. Torno Horizontal | 81 |
| 9.1.8. Taladro Radial..... | 82 |
| 9.1.9. Roscadora..... | 83 |
| 9.1.10. Torno Portátil | 84 |
| 9.1.11. Rectificadora Cilíndrica | 85 |
| 9.1.12. Rectificadora Plana..... | 86 |
| 9.1.13. Sierra Doall | 87 |
| 9.1.14. Sierra Mecánica | 88 |
| 9.2 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS..... | 89 |
| 9.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS MAQUINAS..... | 93 |
| 9.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS POR FACTORES PONDERADOS. | 96 |
| 9.4.1 Descripción del instrumento..... | 98 |
| 9.4.2 Selección del personal a entrevistar | 100 |
| 9.4.3 Verificación de Datos | 101 |
| 9.5 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)..... | 103 |
| 9.5.1 Descripción General Del Proceso | 104 |
| 9.6 SÍNTESIS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN MEDIANTE IPR | 107 |
| 9.7 HOJA DE DECISIÓN DE LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS | 109 |
| 9.8 ANÁLISIS DE COSTOS Y EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO | 112 |
| 9.8.1 Análisis de Costos del Programa Actual de Mantenimiento (2014) para los equipos críticos del Taller de Máquinas de La GRB. | 112 |
| 9.8.2 Cálculo del Índice de Efectividad (MEI) por Equipo Crítico. | 114 |
| 9.8.3 Medición Costo- Beneficio para la implementación de RCM- Análisis Cuantitativo..... | 116 |
| 9.9 PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL EQUIPOS | 119 |
| 9.10 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ELLIPSE..... | 121 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 129 |
| 11. RECOMENDACIONES | 131 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 132 |
| ANEXOS (Se encuentra en carpeta adjunta) | |

LISTA DE TABLAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Tendencia Indicadores Coordinación Proactiva De Área (Primer Trimestre 2013)..... | 21 |
| Tabla 3. Cuantificación Reprocesos | 25 |
| Tabla 4. Equipos Mensuales | 26 |
| Tabla 5. Indicadores del Taller de Máquinas de las semanas del Mes de Enero y Febrero 2013..... | 28 |
| Tabla 6. Las siete preguntas básicas de la metodología RCM..... | 47 |
| Tabla 7. Equipos Propios Taller de Máquinas | 72 |
| Tabla 8. Códigos de las áreas del Departamento de Mantenimiento | 90 |
| Tabla 9. Alternativo según el tipo de equipo..... | 90 |
| Tabla 10. Código de número para cada equipo..... | 91 |
| Tabla 11. Codificación de los Equipos del Taller de Máquinas. | 92 |
| Tabla 12. Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad | 97 |
| Tabla 13. Ponderación de los parámetros del análisis de criticidad por equipo. | 101 |
| Tabla 14. Matriz de criticidad del equipo del taller de maquinas | 102 |
| Tabla 15. Resultados del análisis de criticidad | 103 |
| Tabla 16. Hoja de Información Balanceadora | 106 |
| Tabla 17. Criterios de Evaluación Índice de Gravedad..... | 107 |
| Tabla 18. Criterios de Evaluación Índice de Ocurrencia..... | 108 |
| Tabla 19. Criterios de Evaluación Índice de Ocurrencia..... | 108 |
| Tabla 20. Hoja de Decisión RCM Balanceadora | 110 |
| Tabla 21. Costos Generales de Mantenimiento de Equipos Críticos del Taller de Máquinas de la GRB..... | 113 |
| Tabla 22. Materiales Consumibles por Equipo. | 115 |
| Tabla 23. Materiales Consumibles por todos los Equipos | 115 |
| Tabla 24. Costos de Mantenimiento Correctivo- Valor del Equipo | 117 |
| Tabla 25. Cuadro comparativo del Contrato de Mantenimiento entre Recurso propio y Recurso contratado para el Torno Horizontal 45..... | 118 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Tendencia del Indicador de Desempeño (Primer Trimestre 2013).... | 22 |
| Figura 2. Tendencia del Indicador de Utilización (Primer Trimestre 2013)..... | 22 |
| Figura 3. Tendencia del Indicador de HH no efectivas (Primer Trimestre 2013) | 23 |
| Figura 4. Tendencia del Indicador de Cumplimiento (Primer Trimestre 2013) . | 23 |
| Figura 5. Cantidad de Reprocesos..... | 25 |
| Figura 6. Cantidad de HH Requeridas | 25 |
| Figura 7. Cantidad de \$ en Materiales | 26 |
| Figura 8. Porcentaje de Reprocesos..... | 27 |
| Figura 9. Grupo empresarial | 36 |
| Figura 10. Marco Estratégico | 40 |
| Figura 11. Expectativas de mantenimiento crecientes | 43 |
| Figura 12. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos..... | 44 |
| Figura 13. Cambios en las técnicas de mantenimiento | 45 |
| Figura 14. Diagrama de proceso RCM..... | 48 |
| Figura 15. Registro de Plantas y Niveles de Jerarquía. | 49 |
| Figura 16. Patrones de Falla..... | 53 |
| Figura 17. Tiempo de Parada de la Máquina Vs. Tiempo de Reparación | 55 |
| Figura 18. Hoja de Información RCM..... | 56 |
| Figura 19. Evaluación de las consecuencia de falla..... | 58 |
| Figura 20. Curva P-F..... | 60 |
| Figura 21. Diagrama de Decisión RCM..... | 64 |
| Figura 22. Hoja de Decisión RCM..... | 65 |
| Figura 23. Grupo de Revisión RCM | 66 |
| Figura 24. Proceso de Planeación y Programación del Mantenimiento. | 70 |
| Figura 25. Diagrama de flujo de procesos de reparación de equipos rotativos. | 71 |
| Figura 26. Ficha técnica Torno vertical # 46 | 95 |
| Figura 27. Costos Generales de Mantenimiento de Equipos Críticos del Taller de Máquinas de la GRB..... | 113 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 28. Plan de Mantenimiento Taladro Radial | 120 |
| Figura 29. Modulos de Ellipse | 121 |
| Figura 30. Creación de Equipo Ellipse..... | 122 |
| Figura 31. Ventana Información general en Ellipse..... | 123 |
| Figura 32. Costos y garantías Ellipse..... | 124 |
| Figura 33. Trazabilidad del Equipo en Ellipse. | 124 |
| Figura 34. Texto de Especificaciones técnicas del Equipo en Ellipse..... | 125 |
| Figura 35. Información de la Clasificación del Equipo en Ellipse. | 125 |
| Figura 36. Nombres Coloquiales para los equipos en Ellipse. | 126 |
| Figura 37. Programación de las MST Y WO..... | 126 |
| Figura 38. Unidades Productivas del Departamento de Mantenimiento (PMA). | 127 |
| Figura 39. Equipos del Taller de Máquinas registrados. | 128 |

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Descripción de ECOPETROL S.A
- Anexo B.** Estatutos Sociales De Ecopetrol S.A - Capítulo II
- Anexo C.** Organigrama General De Ecopetrol S.A
- Anexo D.** Organigrama de Vicepresidencia Ejecutiva de Downstream
- Anexo E.** Organigrama de Gerencia Refinería de Barrancabermeja
- Anexo F.** Organigrama Departamento de Mantenimiento
- Anexo G.** Organigrama Coordinación Proactivo Áreas
- Anexo H.** Mapa de procesos de Ecopetrol S.A
- Anexo I.** Fichas Técnicas de los equipos del Taller De Máquinas
- Anexo J.** Formato para encuesta de análisis de criticidad
- Anexo K.** Ponderación de los parámetros del análisis de criticidad
- Anexo L.** Hoja de información RCM de los equipos del Taller De Máquinas
- Anexo M.** Síntesis del proceso de evaluación mediante IPR de los equipos del Taller de Máquinas
- Anexo N.** Hoja de decisión RCM de los equipos del Taller De Máquinas
- Anexo O.** Análisis de costos y efectividad del mantenimiento (MEI) para los equipos críticos del taller de máquinas de la GRB
- Anexo P.** Plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del taller de máquinas
- Anexo Q.** Formato de Inspección y Hoja de Vida de Equipo

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB- ECOPEPETROL S.A.*

AUTOR(ES):

MENDOZA HERRERA, Karen Stephany y SALAS BONILLA, Yarlyn Lizet.**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Análisis de Modos y Efectos de Falla, Plan de Mantenimiento, Índice de Prioridad de Riesgos.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto está orientado al desarrollo de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en el Taller de máquinas del Departamento de Mantenimiento de la GRB. El logro del proyecto es aumentar la eficiencia, rentabilidad y competitividad del Taller de máquinas mediante el diseño de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad y Análisis de efectos y modos de Falla, con el fin de aumentar la disponibilidad de las máquinas herramientas y minimizar los costos.

El proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se enfocó en el desarrollo de las 7 preguntas básicas del proceso RCM, realizado a los 25 equipos del Taller, la estrategia se basó en la recopilación de la información técnica y operativa consignadas en las fichas técnicas de los equipos, seguidamente se determinaron y clasificaron los equipos, mediante el análisis de criticidad por el método de riesgo ponderado, realizando a los equipos seleccionados la base de datos de funciones, fallas funcionales, modos y efectos de falla (AMFE) consignados en la hoja de información RCM, para luego evaluar estos modos de falla estableciéndoles las tareas de mantenimiento adecuadas consignadas en la hoja de decisión RCM, después de llevar a cabo todo este proceso, se podrá proceder a la realización de los planes de mantenimiento para dichos equipos. Dicha información se consignara en el software de la empresa ELLIPSE.

El resultado es una metodología de gestión del mantenimiento que asegura que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados, obteniendo un mejor costo-eficacia de los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, buscando aprovechar al máximo en recurso humano con el cual cuenta la empresa a nivel interno.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Edwin Alberto Garavito Hernández, Ingeniero Industrial.

ABSTRACT

TITLE:

PLAN DESIGN OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR THE MACHINE SHOP EQUIPMENTS OF THE MAINTENANCE DEPARTMENT OF GRB - ECOPETROL S.A.¹

AUTHOR (S):

MENDOZA HERRERA, Karen Stephany and SALAS BONILLA, Yarlyn Lizet.**

KEYWORDS: Reliability centered maintenance, Failure mode an effect analysis (FMEA), maintenance planning, Priority Risk Index.

DESCRIPTION:

The purpose of this project is to show the process aimed to development of a plan of reliability centered maintenance (RCM) in the machine shop of the maintenance Department of GRB. The accomplishment of this project is to increase efficiency, profitability and competitiveness of machine shop by means of designing a system of maintenance based on the reliability and in the Failure mode an effect analysis (FMEA), in order to increase the availability of machine, tools and minimize costs.

The reliability centered maintenance process was focused on the development of the 7 basic questions of this process, performed in 25 equipment of the machine shop. The strategy implemented was based on the compilation of technical and operational information contained in the technical specifications of the equipment, subsequently, the equipment were determined and classified by means of the criticality analysis by the method of weighted risk, implementing them the select database functions, functional failures, failure mode and effect analysis (FMEA), recorded in the RCM information sheet, and then assess these failure modes establishing them the appropriate maintenance tasks recorded in the RCM decision sheet; after carrying out this process, it may proceed with the implementation of the maintenance plans for the equipment. This information will be entered in the software company ELLIPSE.

The result is a maintenance management methodology that assures that assets continue fulfilling the functions, for which they were designed, obtaining a better cost-effectiveness of the resources allocated to the maintenance management, seeking to draw on the human resources which the company has inter

¹ Degree Work.

** Faculty of Physical- Mechanic Engineering. Industrial EngineeringSchool. Director: Edwin Alberto Garavito Hernandez, Industrial Engineer.

1. INTRODUCCIÓN

ECOPETROL, grupo empresarial, dentro de su visión al 2020, establece ser una de las 30 compañías de la industria petrolera, reconocida por su posicionamiento internacional, su innovación y compromiso con el desarrollo sostenible; para lograrlo, ha establecido estándares que contribuyan con la búsqueda de la excelencia y calidad de sus procesos.²

Los criterios y pautas para lograr un crecimiento rentable, calidad y excelencia, inician desde apalancamientos tecnológicos, búsqueda de eficiencia en los costos, confiabilidad e integridad en sus procesos, cultura y efectividad organizacional; todo lo anterior llevando a cabo una operación segura y ambientalmente responsable, involucrando a todas las vicepresidencias y áreas que lo conforman.

La Gerencia Refinería de Barrancabermeja, es parte fundamental de Ecopetrol, por ello, desde hace aproximadamente seis años ha venido adoptando la metodología de mejoramiento continuo, implementada en las mejores empresas del mundo, como Toyota, apoyando el enfoque de excelencia, propósito empresarial.

Asimismo, el Departamento de Mantenimiento, como dependencia de apoyo del proceso y negocio relevante para la confiabilidad y aseguramiento de las operaciones llevadas a cabo en la refinería, va de la mano con la adopción de metodologías enfocadas en el mejoramiento de la productividad, confiabilidad y efectividad de sus operaciones.

El objetivo principal del mantenimiento, es el de conservar la planta industrial, los equipos y los servicios de esta, con el propósito de cumplir sus funciones de la mejor forma posible, para la cual se adquirieron con la calidad y capacidad especificada en condiciones de seguridad, de producción estipulada, economía y cumpliendo las normas ambientales.

Por esta razón, el propósito de este proyecto, es realizar el Plan de Mantenimiento basado en la confiabilidad para el Taller de Máquinas

² Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL, Energía para el Futuro [Consultado el 9 de Febrero de 2013], Disponible en la Intranet Iris: <<http://iris/contenido/contenido.aspx?catID=280&conID=39385>>

Herramientas, con el fin de obtener el funcionamiento óptimo y disponible de los equipos y de la misma manera aumentar la confiabilidad operacional, asegurando calidad y satisfacción al cliente, que en su caso, es cada área operacional de la Refinería de Barrancabermeja.

Inicialmente, se realiza el Reconocimiento de la situación actual del Taller de Máquinas en la Coordinación de Mantenimiento Proactivo en las Áreas, y la caracterización de los equipos del Taller, con el fin de detectar las etapas críticas del proceso de reparación de equipo y el funcionamiento óptimo de cada uno de ellos en las Tareas propuestas.

Acto seguido, se realiza la recopilación de la información técnica de los equipos y la realización de la base de datos con las funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla y consecuencias, asimismo se realiza el cálculo del Indicador de la Efectividad del Mantenimiento, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos.

Finalmente, se realiza el Plan de Mantenimiento anual de los equipos y la alimentación de la base de datos en el sistema Elipse, con el fin de implementar las propuestas generadas en el Proyecto de grado y lograr la sostenibilidad y aseguramiento del logro de los objetivos.

2. TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

| OBJETIVO | CUMPLIMIENTO |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Recopilar la información y realizar la base de datos de los equipos pertenecientes al Taller de Máquinas de la GRB – ECOPETROL S.A, en donde se registren las características físicas y operacionales de la maquinaria a las cuáles se les diseñara la estrategia de mantenimiento. | 9.1 9.2 9.3 9.4 |
| Realizar el análisis funcional de las fallas, identificando y describiendo las funciones del sistema a estudiar, los requerimientos de operación y las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos. | 9.5 |
| Seleccionar los componentes críticos para el funcionamiento de los equipos caracterizados y realizar el análisis de los modos de fallo de los componentes críticos y sus efectos. | 9.4 9.5 |
| Consolidar las tareas de mantenimiento con la misma frecuencia para los equipos del Taller de Máquina, realizando el respectivo cálculo del MEI (<i>Índice de Efectividad del Mantenimiento</i>) analizando las pérdidas de producción vs. El costo de hacer mantenimiento con el fin de mejorar los beneficios económicos asignados a la estrategia de mantenimiento. | 9.7 9.8 |
| Elaboración de los SJ (<i>Standard Jobs</i>) para las tareas de mantenimiento del Plan Anual de mantenimiento, con sus respectivos recursos requeridos. | 9.9 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <p>Documentar y adjuntar la base de datos de las fichas técnicas, hojas de vida, órdenes de trabajo, repuestos, personal, programación de mantenimiento y manejo de indicadores básicos para la gestión de mantenimiento en el sistema de información ELLIPSE.</p> | <p>9.10</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ecopetrol S.A, desde hace algunos años se ha preocupado por el mejoramiento continuo de sus procesos, en si, por la búsqueda de la Excelencia y Calidad de sus productos y servicios, esto lo hace a través de los objetivos y procesos establecidos en cada una de las unidades funcionales de las Gerencias de las Refinerías. Dentro de las unidades de soporte de la actividad económica de la gerencia de la Refinería Barrancabermeja, se encuentra el Departamento de Mantenimiento, el cual está estructurado en cuatro coordinaciones, una de ellas es la coordinación de mantenimiento proactivo en las áreas, siendo esta una de las más representativas en cuanto a número de trabajadores e importancia, ya que por medio del mantenimiento de sus instalaciones se puede garantizar la confiabilidad de sus operaciones y calidad de sus productos.

La coordinación de mantenimiento proactivo por áreas, lleva a cabo funciones, tales como:

- Mantener en óptimas condiciones de operación los equipos rotativos (bombas, turbinas, ventiladores, reductores de velocidad), maquinas, plantas y herramientas necesarias para garantizar la continuidad operativa de la refinería.
- Planear, controlar y dirigir todas las actividades relacionadas con el direccionamiento y ejecución del mantenimiento correctivo, predictivo, preventivo y mejorativo de los equipos rotativos de la refinería.
- Ejecutar trabajos en las condiciones de calidad y oportunidad requeridas por la operación para garantizar la confiabilidad de los equipos.
- Cumplir con la programación designada, y atender en gran medida equipos de emergencia, los cuales constituyen parte importante en el desarrollo de una actividad operativa.
- Restituir las condiciones mecánicas de equipos, cumpliendo con procedimientos y estándares.

De acuerdo a las funciones y responsabilidades que maneja la coordinación de Proactivo por área, se analiza cada uno de sus estándares y se evidencia que hay inconvenientes para el cumplimiento de cada uno de estos. Alguno de los problemas que se evidencian según los indicadores (Ver Tabla 1), los líderes de las áreas y cuadrillas, los coordinadores y supervisores son:

Incumplimiento de la programación semanal (Ver figura 4); incremento de los Reprocesos tanto internos, como externos; sobretiempos en los trabajos a desarrollar y por ende baja confiabilidad en cuanto a seguridad, ambiente y tiempos de reparación, los cuales afectan los tiempos de entrega; Incumplimiento en la meta en el indicador de equipo confiable; incremento de la acumulación de trabajo debido a la falta de seguimiento (Ver figura 3) y además a la improvisación de trabajos debido a una inadecuada planeación (Ver figura 2), sobrecarga de horas semanales en el programa y la baja efectividad de la programación diaria de las actividades(ver figura 1), por parte de cada uno de los líderes de la cuadrilla y áreas, por la presencia de trabajos emergentes y/o por no disponibilidad o entrega de equipos a tiempo.

Tabla 1. Tendencia Indicadores Coordinación Proactiva De Área (Primer Trimestre 2013)

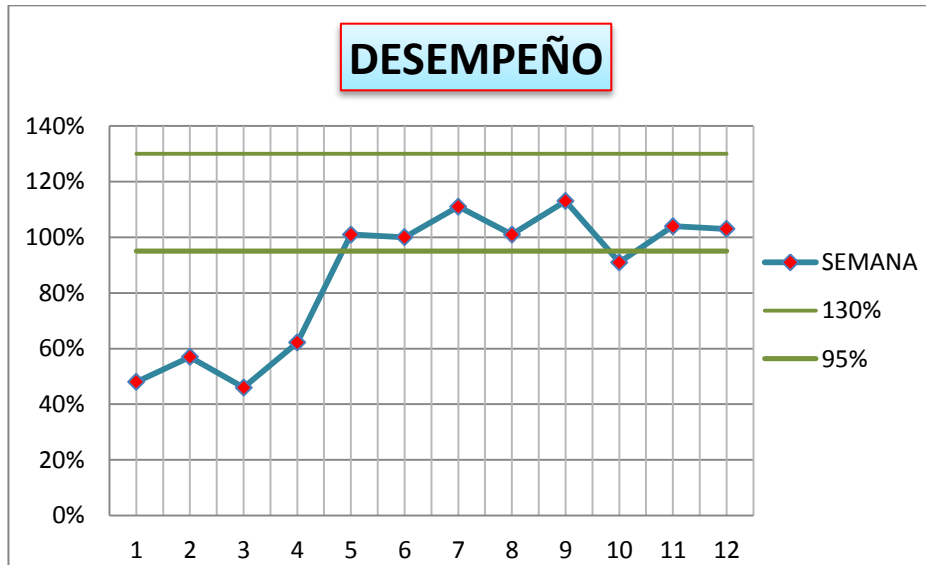
| SEMANAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| DESEMPEÑO | 48% | 57% | 46% | 62% | 101% | 100% | 111% | 101% | 113% | 91% | 104% | 103% |
| UTILIZACION | 116% | 105% | 103% | 86% | 100% | 114% | 108% | 98% | 112% | 104% | 117% | 105% |
| HH NO EFECT | 15% | 13% | 18% | 56% | 93% | 155% | 242% | 124% | 214% | 5% | 13% | 12% |
| CUMPLIMIENTO | 62% | 59% | 77% | 82% | 88% | 86% | 78% | 74% | 80% | 84% | 75% | 86% |

Fuente: Tabla de Tendencia de Indicadores Coordinación Proactiva De Área

En la Tabla 1, se evidencian porcentajes superiores al máximo posible 100%, esto se debe a que los Estándares del Departamento de Mantenimiento se establecieron hace algunos años y estos actualmente son muy elevados, por ejemplo trabajos que se realizaban anteriormente en 6 horas hoy en día se realizan en 4 horas, se reducen los tiempos de trabajo y tareas debido a las nuevas herramientas y métodos adquiridos por el departamento. Los porcentajes mayores al 100% demuestran que el Departamento de

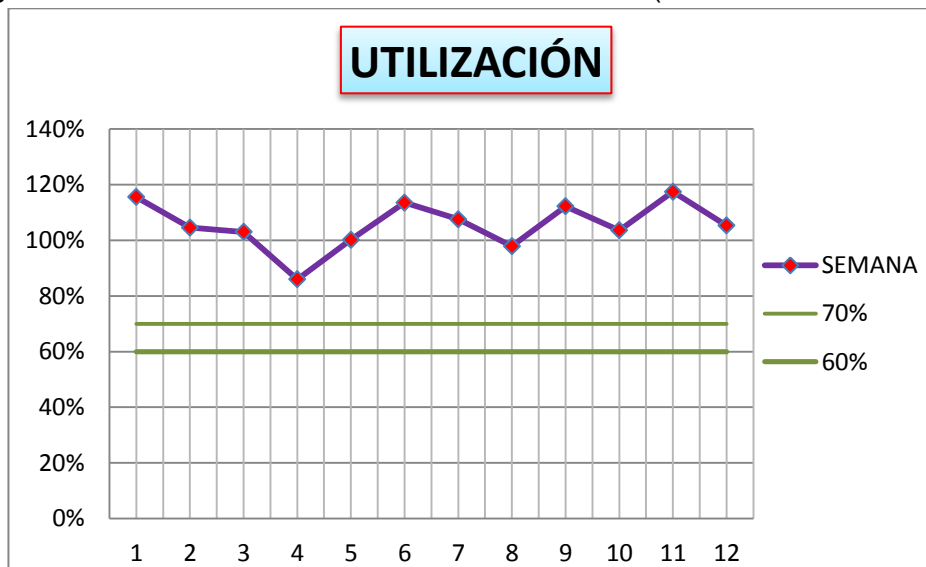
Mantenimiento debe de revisar y ajustar los estándares predeterminados, para poder obtener una medición precisa y coherente al tiempo de hoy.

Figura 1. Tendencia del Indicador de Desempeño (Primer Trimestre 2013)



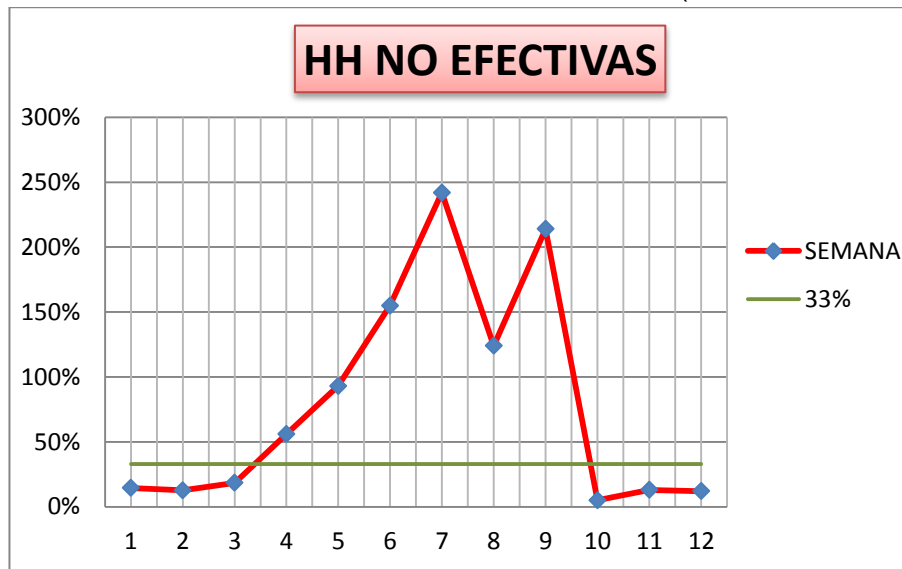
Fuente: Tabla Tendencia Indicadores Coordinación Proactiva De Área (Primer Trimestre 2013)

Figura 2. Tendencia del Indicador de Utilización (Primer Trimestre 2013)



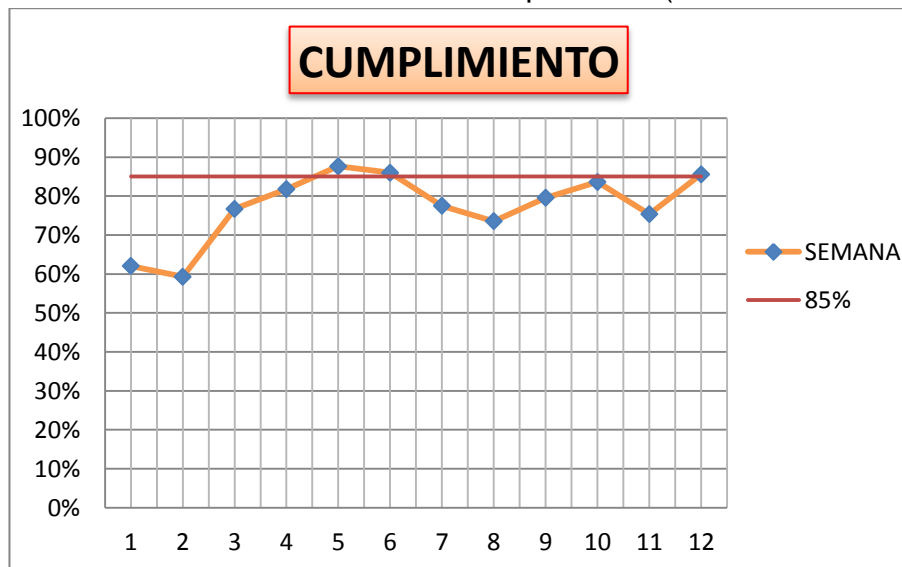
Fuente: Tabla Tendencia Indicadores Coordinación Proactiva De Área (Primer Trimestre 2013)

Figura 3. Tendencia del Indicador de HH no efectivas (Primer Trimestre 2013)



Fuente: Tabla Tendencia Indicadores Coordinación Proactiva De Área (Primer Trimestre 2013)

Figura 4. Tendencia del Indicador de Cumplimiento (Primer Trimestre 2013)



Fuente: Tabla Tendencia Indicadores Coordinación Proactiva De Área (Primer Trimestre 2013)

El Taller de Máquinas, actualmente se encuentra bajo la coordinación de mantenimiento proactivo por áreas, en éste se lleva a cabo actividades para la recuperación y fabricación de partes de equipos rotativos y estáticos de la

GRB, el mecanizado de piezas y el balanceamiento de rotores. En este taller se trabaja las 24hrs del día con un promedio de 310 HH/semana, en donde se desarrollan ordenes de trabajo para 14 equipos completos, asignándole a cada uno de estos dos tareas o más dada la ocasión.

Actualmente el Taller de Máquinas cuenta con un total de 33 Equipos, donde 9 de ellos están en proceso de retiro del Área, por tanto en el Plan de Mantenimiento basado en la Confiabilidad se realizará con un total de 24 equipos.

Para el año 2012, el Taller de máquinas registró en el área inconvenientes tales como: Reprocesos debido a desconocimiento de procedimientos, demoras de repuestos, materiales entre otros, generando esto más horas de trabajo, haciendo que se incrementen los costos de mano de obra, materiales e incidiendo en el cumplimiento del tiempo de entrega del servicio.

A continuación se muestra la fórmula de Indicador de Reprocesos que se maneja en el Departamento de Mantenimiento de la GRB para cada una de las áreas. Ésta hace parte de la evaluación de los indicadores mensuales:

$$\text{Indicador Reprocesos} = \frac{\text{Número de Equipo reprocesados en el mes}}{\text{Número total de Equipos reparados en el mes}} * 100$$

Los resultados permiten conocer el porcentaje de reprocesos presentados en un mes en el taller de máquinas, a su vez, permite cuantificar los costos y gastos en que se incurren, debido a la entrega de equipos fuera de especificación, o con falta de estándares de calidad.

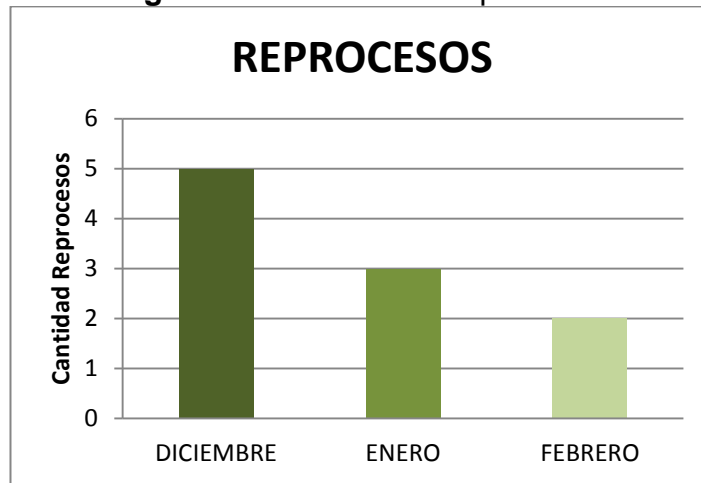
A continuación se presentan los resultados del seguimiento a los reprocesos del Taller de Máquinas durante los meses de Diciembre de 2012, Enero y Febrero del año 2013, Tabla 3 y figura 5.

Tabla 3. Cuantificación Reprocesos

| REPROCESOS DE EQUIPOS | | | |
|------------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|
| MES | CANTIDAD REPROCESOS | CANTIDAD HH | MATERIALES \$ |
| DICIEMBRE | 5 | 350 | \$ 10.000.000 |
| ENERO | 3 | 230 | \$ 7.000.000 |
| FEBRERO | 2 | 120 | \$ 5.000.000 |

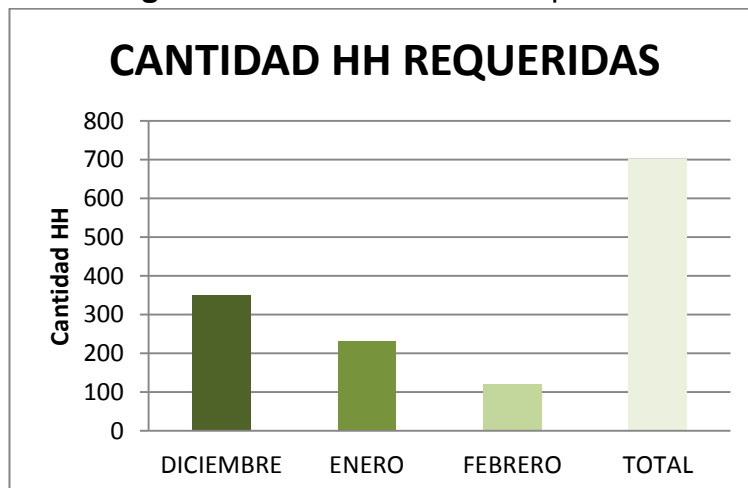
Fuente: Tabla de Seguimiento y Cumplimiento de Órdenes de Trabajo Taller de Máquina

Figura 5. Cantidad de Reprocesos



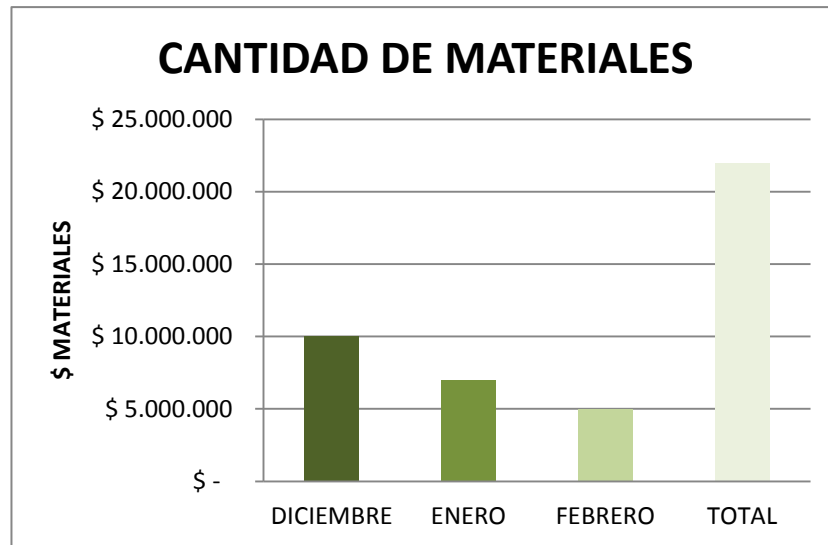
Fuente: Tabla Cuantificación Reprocesos

Figura 6. Cantidad de HH Requeridas



Fuente: Tabla Cuantificación Reprocesos

Figura 7. Cantidad de \$ en Materiales



Fuente: Tabla Cuantificación Reprocesos

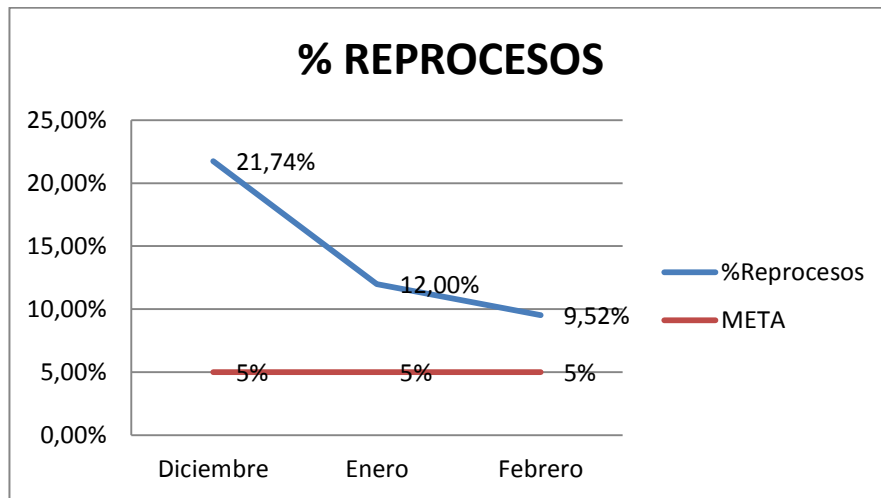
De acuerdo a la aplicación del indicador de reprocesos, que se tomó como base para el seguimiento y cuantificación de los reprocesos externos en el taller de Máquinas, los siguientes son los datos necesarios y sus resultados en la tabla 4 y figura 8.

Tabla 4. Equipos Mensuales

| EQUIPOS MENSUALES | | | | |
|--------------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------|
| MES | Reparados | Reprocesados | %Reprocesos | META |
| Diciembre | 23 | 5 | 21,74% | 5% |
| Enero | 25 | 3 | 12,00% | 5% |
| Febrero | 21 | 2 | 9,52% | 5% |
| Total Trimestre | 69 | 10 | 14,49% | |

Fuente: Tabla de Seguimiento y Cumplimiento de Órdenes de Trabajo Taller de Máquina – Tabla de Indicadores Mensuales Taller de Máquina

Figura 8. Porcentaje de Reprocesos



Fuente: Tabla Equipos Mensuales

Además de lo anterior, otros inconvenientes presentados en el Taller de Máquina son los siguientes:

- Incumplimiento en la meta en el indicador de equipo confiable.
- Incumplimiento en la meta en el indicador de equipo instalado.

En la tabla 5, se muestra la medición y el cumplimiento de los Indicadores establecidos para evaluar el Taller de Máquinas. En ésta se evidencia un alto incumplimiento de estos, debido a diferentes razones tales como el número de Equipos Disponibles para Operar u Operando, a las HH Programadas para la semana y total HH disponibles, HH estimadas para tareas de mantenimiento preventivo y predictivo cerradas completadas, entre otras.

Tabla 5. Indicadores del Taller de Máquinas de las semanas del Mes de Enero y Febrero 2013

| | UDM | Meta | | # Semana | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------|-----|-------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Confiabilidad de Equipos | % | 90% | Plan | 90,38% | 90,38% | 90,38% | 90,38% | 90,38% | 90,38% | 90,38% | 90,38% | 90,38% |
| | | | Actual | 88,17% | 88,55% | 88,55% | 88,55% | 88,93% | 89,69% | 90,08% | 90,08% | |
| Carga Programa Semanal | % | 100% | Plan | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | | Actual | 96% | 86% | 82% | 98% | 59% | 98% | 70% | 90% | |
| Cumplimiento Programa Semanal | % | 85% | Plan | 85% | 85% | 85% | 85% | 85% | 85% | 85% | 85% | 85% |
| | | | Actual | 70% | 67% | 61% | 58% | 66% | 58% | 70% | 40% | |
| Horas No Efectivas | % | 25,0% | Plan | 38,4% | 38,4% | 38,4% | 38,4% | 37,1% | 37,1% | 37,1% | 37,1% | 37,1% |
| | | | Actual | 7% | 11% | 2% | 9% | 13% | 23% | 15% | 9% | |
| Cumplimiento Mantenimiento Preventivo y Predictivo Programado | % | 100% | Plan | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | | Actual | 73% | 77% | 74% | 81% | 79% | 62% | 72% | 46% | |
| Utilización | % | 75,0% | Plan | 61,6% | 61,6% | 61,6% | 61,6% | 62,9% | 62,9% | 62,9% | 62,9% | 62,9% |
| | | | Actual | 106% | 85% | 62% | 135% | 76% | 112% | 73% | 86% | |
| Trabajos No Programados | % | 15% | Plan | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% |
| | | | Actual | 5% | 1% | 5% | 30% | 43% | 41% | 19% | 9% | |
| Desempeño | % | 100% | Plan | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | | Actual | 75% | 91% | 87% | 78% | 82% | 73% | 78% | 122% | |

| | |
|--|----------------|
| | Incumplimiento |
| | Cumplimiento |

Fuente: Tabla de Indicadores Semanales Taller de Máquinas

La anterior tabla muestra la estructura que se maneja para la presentación y análisis de los indicadores de cada área del Departamento de Mantenimiento. En las columnas se ve reflejado los tipos de Indicadores, la Unidad de Medida (UDM) que es la porcentual, la meta la cual es la estipulada para alcanzar en el año, el Plan que es el porcentaje estimado para lograr cada semana, el actual es el resultado real en cada semana y por último el número de semanas que se van evaluando. En las filas se encuentra cada tipo de indicador, los cuales son los que evalúan el rendimiento, la operatividad y la confiabilidad de los equipos en cada una de las áreas del Departamento.

Teniendo en cuenta el análisis cualitativo y cuantitativo de los inconvenientes y problemas que presenta el taller de máquinas de la GRB se requiere un proyecto para implementar un plan de mantenimiento más efectivo, ya que es un área que presta sus servicios las 24 horas del día a todas las áreas de la Refinería de Barrancabermeja, y teniendo en cuenta que el Taller desarrolla solo un enfoque de mantenimiento correctivo para los equipos, podría ocasionar retrasos en las actividades o no disponibilidad para realizar las tareas programadas y trabajos emergentes debido a la avería o daño de alguno de ellos; esto hace necesario contar con una metodología más eficiente para la gestión del mantenimiento como es el RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad), ya que éste nos permite:

- Mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas
- Analizar todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad.
- Planear Mantenimiento y estipular Tareas Proactivas (Predictivas y Preventivas) y Tareas Alternativas.

4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

En Ecopetrol se requiere el funcionamiento óptimo y disponible de los equipos ubicados en las diferentes áreas y plantas de las refinerías, debido al negocio de exploración y producción de hidrocarburos y la participación mayoritaria de Transporte, Logística y refinación de este en Colombia; además del horario de trabajo continuo hace que durante el día se tenga disponibilidad constante de los equipos para realizar los procesos y no se generen paradas inesperadas que produzcan repercusiones negativas en la economía de la empresa.

El Taller de Máquinas de la GRB requiere urgentemente de un Plan de Mantenimiento que le pueda Garantizar el óptimo desempeño en sus labores que son la recuperación y fabricación de partes de equipos rotativos y estáticos de la GRB. El plan se aplicará con el fin de que el Taller pueda mejorar su productividad, confiabilidad y efectividad de sus operaciones.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar el Plan de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad para los equipos del Taller de Máquinas de la coordinación de proactivos por áreas del Departamento de mantenimiento ubicado en la GRB – Ecopetrol S.A.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información y realizar la base de datos de los equipos pertenecientes al Taller de Máquinas de la GRB – ECOPETROL S.A, en donde se registren las características físicas y operacionales de la maquinaria a las cuáles se les diseñara la estrategia de mantenimiento.
- Realizar el análisis funcional de las fallas, identificando y describiendo las funciones del sistema a estudiar, los requerimientos de operación y las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos.
- Seleccionar los componentes críticos para el funcionamiento de los equipos caracterizados y realizar el análisis de los modos de fallo de los componentes críticos y sus efectos.
- Consolidar las tareas de mantenimiento con la misma frecuencia para los equipos del Taller de Máquina, realizando el respectivo cálculo del MEI (*Índice de Efectividad del Mantenimiento*) analizando las pérdidas de producción vs. El costo de hacer mantenimiento con el fin de mejorar los beneficios económicos asignados a la estrategia de mantenimiento.
- Elaboración de los **SJ** (*Standard Jobs*) para las tareas de mantenimiento del Plan Anual de mantenimiento, con sus respectivos recursos requeridos.
- Documentar y adjuntar la base de datos de las fichas técnicas, hojas de vida, órdenes de trabajo, repuestos, personal, programación de mantenimiento y manejo de indicadores básicos para la gestión de mantenimiento en el sistema de información ELLIPSE.

6. RESULTADOS ESPERADOS.

El objetivo principal del trabajo de grado es mejorar la confiabilidad, el funcionamiento óptimo y efectividad de los equipos del Taller de Máquinas de la GRB, por lo tanto, se hará entrega de un documento compuesto por:

- Base de datos con el inventario de equipos de la empresa con su respectiva descripción de sus funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla.
- Cálculo del **MEI** (*Índice de Efectividad del Mantenimiento*) analizando las pérdidas de producción vs. El costo de hacer mantenimiento con el fin de mejorar los beneficios económicos asignados a la estrategia de mantenimiento.
- Plan Anual de Mantenimiento, el cual será la guía para el personal de mantenimiento con el fin de garantizar la correcta ejecución técnica del trabajo de mantenimiento.
- Además se realizara la alimentación de la información al sistema de información ELIPSE con la base de datos de las fichas técnicas, hojas de vida, órdenes de trabajo, repuestos, personal, programación de mantenimiento y manejo de indicadores básicos para la gestión de mantenimiento.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

7.1.1 Reseña Histórica

La reseña histórica de la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL, documentada en la intranet, iris, es³ :

La revisión al Estado Colombiano de la Concesión De mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos. 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 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 revertieron e incorporó su operación.

En 1961, asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compro 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,

³ Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL. Energía para el futuro. [En Línea]. [Consultado el 17 de Octubre de 2013]. Disponible en:
<<http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=32&CconID=36271>>

conforme a las reglas del derecho privado y a las normas contenidas en sus 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 1100 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 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 Ministerios de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Estructura 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. Motivado por la

fuerza de la unidad de propósito y dirección en 2009 se constituyó el Grupo Empresarial Ecopetrol, bajo los términos de la legislación comercial colombiana (Ver figura 9).

Actualmente, Ecopetrol S.A es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$8.3 billones registrada en 2012, pertenece al grupo de las 37 empresas energéticas de mayor desempeño en el mundo, según la firma especializada Platts, y es una de las cuatro principales empresas petroleras de Latinoamérica. Además, posee las dos refinerías más grandes del país y tiene participación mayoritaria en la infraestructura de transporte de hidrocarburos y productos derivados en el país⁴.

7.1.2 Tamaño de la empresa

Ecopetrol es la empresa más grande y la principal compañía petrolera en Colombia, participa en todos los eslabones de la cadena de hidrocarburos, desde la exploración y producción de petróleo y gas, hasta la transformación en productos de mayor valor agregado y posteriormente su comercialización.

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 8500 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional. Tiene a disposición de los socios el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), considerado el más completo centro de investigación y laboratorio científico de su género en el país, donde reposa el acervo geológico de un siglo de historia petrolera de Colombia.

⁴ Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL. Energía para el futuro. [En Línea]. [Consultado el 17 de Octubre de 2013]. Disponible en: <<http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=32&conID=362716>>

Figura 9. Grupo empresarial

| | FILIAL | SUBSIDIARIA | PARTICIPACIÓN ACCIONARIA |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN |  51% |  100%  100%  100%  100% |  50% |
| TRANSPORTE |  100% |  55,97%  72,65%  73%  65% |  49% |
| REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA |  100% |  100% | |
| ENERGÍAS ALTERNATIVAS | |  91,43%  |  50% |
| VEHÍCULOS FINANCIEROS Y DE INVERSIÓN Y OTRAS | Black Gold Re Andean Chemicals Ltd Hocol Petroleum Limited EPI- Ecopetrol Pipelines International Limited. Ecopetrol Capital A. G. Ecopetrol Global Energy SLU Ecopetrol Global Capital SLU | Santiago Oil Company Colombia Pipelines Limited ODL Finance S.A. |  43,35%  7,19%  6,87%  5,32% |

Fuente: Intranet Ecopetrol

La refinería de Barrancabermeja, está localizada en la ciudad del mismo nombre, en la región central de Colombia a orillas del río Magdalena, es el complejo de refinación y petroquímica más grande de Colombia, la cual se encuentra bajo la dirección de la Vicepresidencia de Refinación y Petroquímica. Actualmente, la GRB cuenta con más de 1500 empleados directos y 6000 empleados contratistas, aproximadamente, ya que varían según los contratos, el complejo se extiende en un área de 254 hectáreas, en las que se distribuyen más de cincuenta modernas plantas y unidades de proceso, tratamiento, servicios y control ambiental. Las áreas productivas son:

- Departamento de Gestión y control ambiental.
- Departamento de materias primas y productos.
- Departamento de refinación de crudos.
- Departamento de refinación de fondos.

- Departamento de Cracking I
- Departamento de Cracking II
- Departamento de Cracking III
- Departamento de parafinas y fenol
- Departamento de petroquímica
- Departamento de servicios industriales balance
- Departamento de servicios industriales refinería

El proceso de mantenimiento, es un proceso de soporte de la actividad económica que se desarrolla en la refinería de Barrancabermeja, pero es de suma importancia, ya que por medio del mantenimiento de sus instalaciones se puede garantizar la confiabilidad de sus operaciones y la calidad de sus productos.

- Mapa de procesos de Ecopetrol. Ver Anexo D
- Mapa de proceso de mantenimiento.

7.1.3 Marco estratégico

Ecopetrol dentro de su marco estratégico, enuncia⁵:

- Misión Grupo Empresarial

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.

⁵ Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL. Energía para el futuro, se puede encontrar en la Intranet:<[<http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?caxID=31&conID:484>]. Citado [17 de Octubre de 2011]

- **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. El marco estratégico se puede apreciar en la figura 10.

7.1.4 Cultura Organizacional

La cultura organizacional de Ecopetrol se basa en la caracterización de los siguientes elementos⁶:

- **Valores**

Formas deseables de ser y actuar de las personas, que posibilitan la construcción de la convivencia para el logro de los retos de la empresa y se manifiestan en conductas. En Ecopetrol S.A nuestras actuaciones se enmarcan dentro de los valores de Responsabilidad, Integridad y Respeto.

- Responsabilidad: Obligación moral de hacer el mejor esfuerzo por alcanzar los objetivos empresariales con un manejo eficiente de los recursos, asegurando el desarrollo sostenible del entorno y el auto cuidado.
- Integridad: Comportamiento visible que nos muestra como personas coherentes, porque actuamos como decimos y pensamos.
- Respeto: Aceptación de las diferencias que nace en la propia autoestima y el reconocimiento de la existencia del otro.

Toda persona, toda comunidad y sus entornos ecologicos merecen de nosotros la más alta consideración y cuidado, sin exclusiones ni discriminaciones.

⁶ Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL. Energía para el futuro. Código de ética Ecopetrol. [En Línea]. [Consultado el 17 de Octubre de 2013]. Disponible en: <<http://portal.ecopetrol.com.co/especiales/códigoEtica/index.html>>.

- Principios

Enunciados que describen los comportamientos esperados de cada uno en el desarrollo de las actividades, tanto dentro como fuera de la Empresa. Estos son:

- La verdad, que está por encima en todas las acciones y relaciones de la empresa y su grupo empresarial.
- La seguridad, que es prioridad en el trabajo para la protección de la integridad de las personas, de las instalaciones y del ambiente.
- El cumplimiento, que se evidencia frente a los compromisos, normas y procedimientos, y que guía nuestras acciones de mejoramiento.
- La rendición de cuentas, que permite demostrar la transparencia, calidad de la gestión y buen uso de los recursos, prevaleciendo el bien común por encima de los intereses particulares.
- El aprendizaje en equipo, que mediante el ejemplo y el acompañamiento permanente, permite garantizar amplia comunicación.
- El trabajo con profesionalismo, que contribuye a sobrepasar las expectativas de nuestros clientes en términos de costos, ingresos y oportunidad.
- La exigencia y compromiso, que permite mantener y aumentar la viabilidad económica del negocio, mediante el control de los resultados y sus consecuencias.
- La consideración y el cuidado, que sin exclusiones ni recriminaciones merecen las personas, comunidades y sus entornos ecológicos.

Figura 10. Marco Estratégico



Fuente: Intranet Ecopetrol

7.2 MARCO TEÓRICO

7.2.1 Mantenimiento

Cualquier máquina o equipo sufre a lo largo de su vida constante desgaste y degradación. Si éstas no son corregidas o eliminadas, no se podrá cumplir satisfactoriamente las funciones por las cuales fue adquirido el activo, además de acortar el tiempo de funcionamiento desde su fabricación hasta el final de su vida útil. Esto conlleva a que cualquier instalación necesita alguien que se encargue de realizar su operación pero también alguien que realice las reparaciones pertinentes.

De acuerdo a lo anterior podemos definir el mantenimiento “como un conjunto de acciones destinadas a prolongar el funcionamiento constante de las instalaciones de una empresa, reduciendo costos, alargando la vida útil para que su inversión sea más rentable para la compañía generando productos de mayor calidad minimizando las pérdidas en la producción”⁷. El objetivo principal de mantenimiento es conseguir alto nivel de disponibilidad en el proceso, a un costo muy bajo, con el máximo nivel de seguridad y una mínima degradación del medio ambiente.

7.2.2 Historia y Evolución del Mantenimiento

La historia del mantenimiento está marcada por la tecnología y el grado de complejidad de los activos y procesos, es por esto que hasta la segunda guerra mundial la industria no estaba altamente mecanizada, por lo tanto el tiempo de parada de las máquinas y la prevención de fallas en los equipos no era de mayor importancia, ya que se contaba con equipos simples y sobredimensionados, esto los hacía confiables y fáciles de reparar. “Las tareas de mantenimiento se enfocaban solo a una limpieza de rutina y lubricación”⁸.

El comienzo de la segunda guerra mundial aumento la demanda de bienes y servicios, lo que produjo un aumento en la calidad y complejidad de las máquinas en la industria, lo que hace que las organizaciones comenzaran a depender del estado de los activos. Gracias a esto nace el concepto de mantenimiento preventivo el cual consistía en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados para prevenir las fallas y mejorar la confiabilidad operacional de los equipos. Este concepto se basa en el supuesto de la creencia intuitiva de que, debido a las piezas mecánicas se desgatan, la fiabilidad de los equipos está

⁷MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Aladon LLC, North Carolina. USA: Edwars Brothers, 2004. Cap. 1, p.1

⁸MOUBRAY, John. Op.cit, p.2

directamente relacionada con la edad de funcionamiento. El único problema era determinar que límite de edad era necesario para asegurar la operación confiable. Todo esto llevo a aumentar el costo del mantenimiento, por lo que hubo la necesidad de crear sistemas de planeación y control para la organización de este.⁹

A mediados de la década de los 60's investigaciones y análisis de datos obtenidos en los activos muestran que cada vez existía menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen, lo cual demostró que existen fallas que no se podían prevenir sin importar la intensidad del programa de mantenimiento. Esto tenía una gran incidencia en la producción, los costos operacionales y el servicio al cliente, además que algunas de estas fallas afectaban la seguridad, la calidad y el medio ambiente, para lo cual las organizaciones se enfocaban más a obtener mayor disponibilidad y confiabilidad en los equipos.

Desde mediados de los años 70's, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así:

- **Nuevas Expectativas:**

La figura 11 muestra la evolución de las expectativas de mantenimiento.

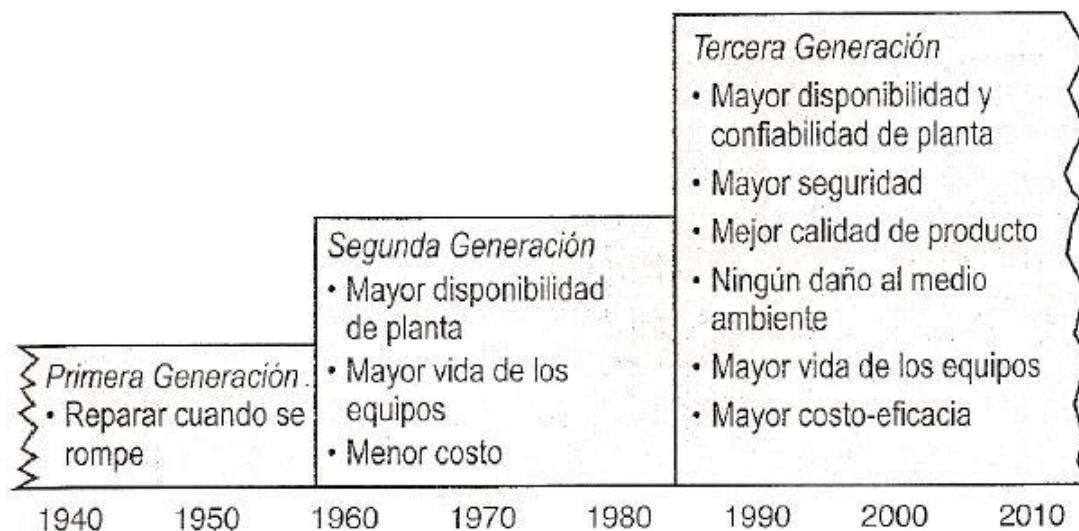
El crecimiento continuo de la mecanización significa que los periodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto es visto claramente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda la operación, creando grandes demandas en la función del mantenimiento.

⁹ Ibid., p.2

Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Simultáneamente, se elevan los estándares de calidad.¹⁰

El aumento de la mecanización también produce más serias consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

Figura 11. Expectativas de mantenimiento crecientes



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

• **Nuevas Investigaciones:**

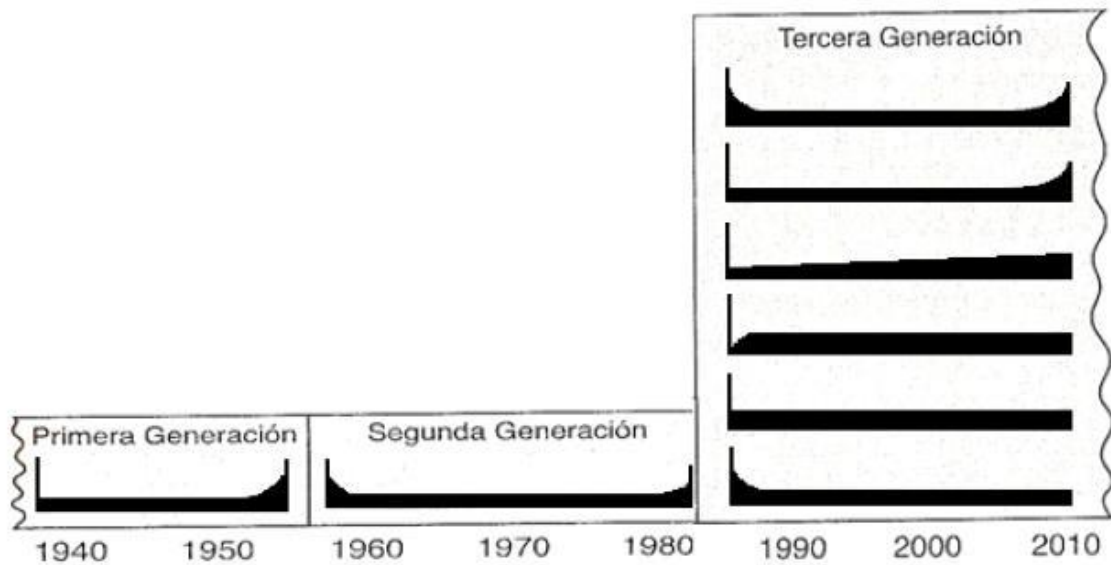
Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

La figura 12 muestra como en un principio la idea era simple que a medida que los elementos envejecían eran más propensos a fallar. Una creciente conciencia

¹⁰MOUBRAY, John.Op.cit, p.3

de la “mortalidad infantil” llevo a la segunda generación a creer en la curva de la “bañera”. Sin embargo, nuevas investigaciones en la tercera generación revelan no uno sino seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica.

Figura 12. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

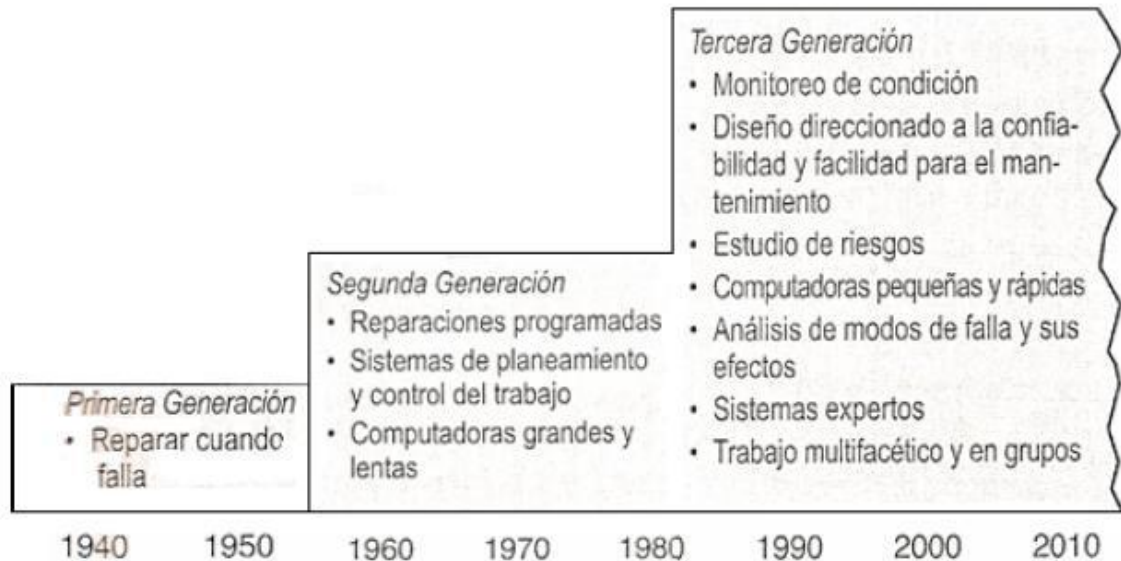
- **Nuevas Técnicas:**

Ha surgido un gran auge de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Gran parte de estos han sido desarrollados en los últimos veinte años, y crece aún más día a día. La figura 13 muestra cómo ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas.

La aviación comercial fue la primera industria que enfrento el desafío de aprender las nuevas técnicas de la tercera generación, además de decidir cuáles son necesarias y valen la pena aplicar. El punto de apoyo para realizar esto, fue darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en tener la certeza de que se estén realizando las tareas correctamente al igual que sean las requeridas según el

caso. El inicio de esto dio lugar al desarrollo de procesos de toma de decisión comprensivos que se conocieron dentro de la industria aeronáutica como MSNG3 y fuera de ésta como mantenimiento centrado en confiabilidad.¹¹

Figura 13. Cambios en las técnicas de mantenimiento



Fuente: MOUBRAY, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, 2004

7.2.3 Mantenimiento Centrado En Confiabilidad

Antes de formular la teoría y fundamentos básicos del proceso RCM es conveniente dar algunas definiciones que resultan claves para poder comprender los conceptos dados posteriormente.

Según John Moubray, *Mantenimiento* es la capacidad de asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan y *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* como “un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe

¹¹MOUBRAY, John.Op.cit, p.6

haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual".¹²

Richard B. Jones en su definición de RCM, ha añadido "El RCM emplea una perspectiva de sistema en sus análisis de las funciones del sistema, fallos de las funciones, y la prevención de estos fracasos"¹³.

Otra definición para RCM según la SAE, "es un proceso específico usado para identificar políticas, las cuales tiene que ser implementadas para manejar modos de fallos los cuales pueden causar pérdida de la función de cualquier activo físico en el contexto operacional dado"¹⁴.

Otras definiciones son la de Disponibilidad, que es la probabilidad de que el equipo opere satisfactoriamente en el momento que sea requerido bajo condiciones estables de funcionamiento, y Confiabilidad, que es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales fue diseñado, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones de operación dadas.

7.2.4 Teoría y Fundamento Básicos Del RCM

- **RCM: Las Siete preguntas básicas.**

La Sociedad de Ingenieros de Automoción Inc. y según La norma SAE JA1011 ha recomendado lo siguiente como criterios de evaluación para el proceso de identificación como RCM¹⁵:

¹² MOUBRAY, John. Op.cit, p.7

¹³ A.J. Mokashi, J. Wang, A.K. Vermar. A study of reliability-centred maintenance in maritime operations. PERGAMON. Marine Policy 26 (2002) 325–335. 11 Pág.

¹⁴ SAE JA 1011, Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 1999.

¹⁵ GUTIÉRREZ GALLEGU, Jaime Andrés. Desarrollo de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión en alta tensión. Pereira, 2008. 94 Páginas. Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniera Eléctrica. [En Línea]. [Consultado el 13 de Abril de 2013]. Disponible en: <<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1064/1/6213192G984.pdf>>

Tabla 6. Las siete preguntas básicas de la metodología RCM

| LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DE LA METODOLOGÍA RCM | | |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Nº | PREGUNTA | TECNICA UTILIZADA |
| 1 | ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional (funciones)? | AMFE |
| 2 | ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones (fallas funcionales)? | AMFE |
| 3 | ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de fallo)? | AMFE |
| 4 | ¿Qué sucede cuando cada falla ocurre (efectos del fallo)? | AMFE |
| 5 | ¿En qué sentido es importante cada falla (consecuencias de las fallas)? | AMFE |
| 6 | ¿Qué se puede hacer para predecir y prevenir cada falla (tareas proactivas y el intervalo de tareas)? | DIAGRAMA DE DECISIÓN |
| 7 | ¿Qué debo hacer si no puedo predecir o prevenir las fallas (acciones por defecto)? | DIAGRAMA DE DECISIÓN |

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

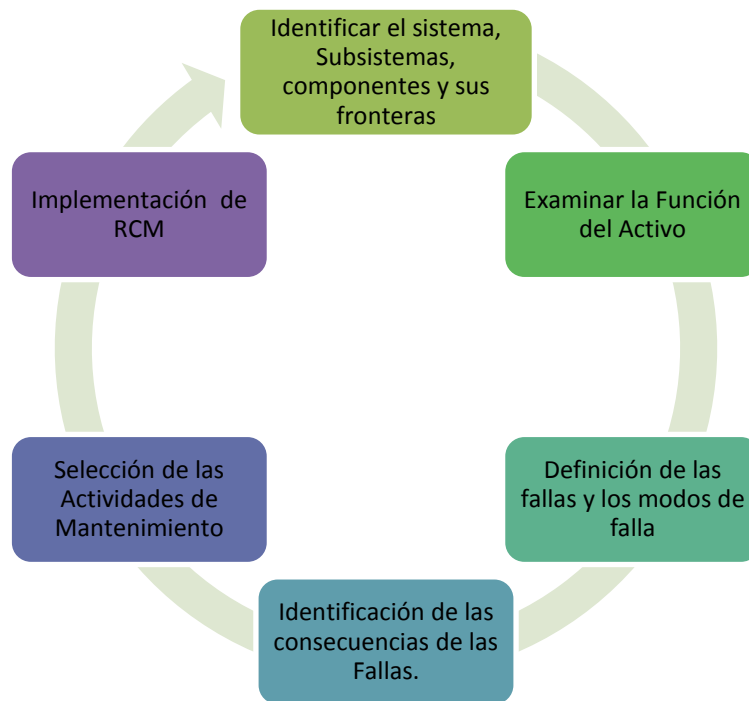
AMFE: Análisis Modal De Fallos Y Efectos

El objetivo de cualquier modelo de gestión de mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos con costos aceptables dentro de la organización, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. Para lograr el proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad se formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar, donde cada una de ellas se centra en la relación entre las organizaciones y los activos físicos que la componen, en la Tabla 4 podemos observar las preguntas y las técnicas para darle respuesta tales como Análisis de Modo de Falla y Efectos y Diagramas de Decisión RCM.

7.2.5 Etapas del Proceso RCM

Para lograr aplicar cada una de las herramientas utilizadas para efectuar un proceso RCM es necesario llevar una serie de pasos en los procesos a realizar como la definición del sistema, determinación del nivel de análisis, identificación de los modos de falla, selección de las actividades de mantenimiento necesarias dentro del mantenimiento, y la implementación del equipo de RCM determinando equipo de trabajo y recursos físicos (ver figura 14).

Figura 14. Diagrama de proceso RCM



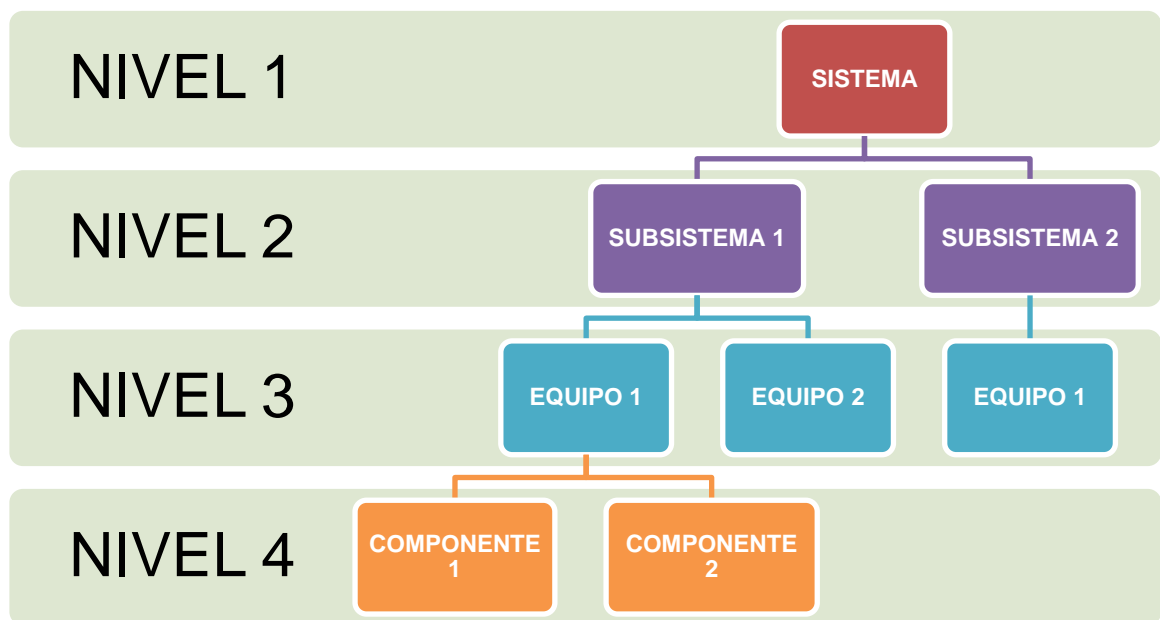
Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

- **Registro de Planta y Definición de Sistemas.**

Antes que cualquier empresa pueda aplicar el proceso RCM, debe saber a qué activos va aplicarlo y donde están. Para esto debe prepararse un listado de toda la planta, equipos o edificios que la componen, esto se conoce como registro de planta, para luego elegir el nivel de análisis apropiado para el análisis RCM, el cual

debe ser óptimo y adecuado para un número razonable de modos de falla por función. Los niveles de análisis del proceso son fáciles de escoger si el registro de planta está preparado como una jerarquía. Otro de los puntos importantes antes de realizar el análisis es definir claramente donde comienza o termina un sistema y asegurarse que los activos de los límites del sistema no queden por fuera del proceso. La figura 15 muestra la forma en que se debe realizar el registro de la planta, con sus respectivos niveles de Jerarquía.

Figura 15. Registro de Plantas y Niveles de Jerarquía.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

- **Funciones y Parámetros de Funcionamiento.**

Para llegar a tener un proceso exitoso de RCM se necesita determinar claramente que es lo que los usuarios quieren que el activo realice, y asegurarse que el activo está en capacidad de realizar aquello que sus usuarios quieren que realice, pero antes de poder formular funciones, es necesario tener claro los estándares de funcionamiento y el contexto operacional del activo.

Se puede definir los *Estándares de funcionamiento* como la magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo realice o cual es el funcionamiento deseado o desempeño y para saber si el activo está en la capacidad de rendir se debe conocer la capacidad inicial. Al entrar a definir estos estándares es necesario tener en cuenta que existen máquinas que manejan varias variables en el proceso por lo cual este estándar será múltiple, también saber si es necesario cuantificarlo o se puede enunciar cualitativamente, o si es algo absoluto o variables, definiendo los límites de funcionamiento superior e inferior deseables¹⁶.

El siguiente paso es comprender claramente el Contexto Operacional del activo, siendo este “las condiciones de funcionamiento en la que opera el activo, el cual se puede redactar teniendo en cuenta diferentes aspectos”¹⁷, tales como el tipo de proceso, si es un activo en servicio o de apoyo, los estándares de calidad, medio ambientales y de seguridad, los turnos de trabajo en que opera, el tiempo de reparación de las fallas y los repuestos necesarios, la demanda del mercado y el abastecimiento de materias primas.

De esta forma es mucho más fácil determinar las funciones del activo, la cual normalmente consiste en un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario. Existen dos tipos de funciones en un activo, las primarias y las secundarias, que se definen como:

- Funciones primarias: son la razón por la cual se adquirió el activo. Este tipo de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.¹⁸
- Funciones secundarias: son aquellas de las cuales se puede esperar del activo aparte de cubrir sus funciones primarias. Estas cubren temas tales como la seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía,

¹⁶MOUBRAY, John. Op.cit, p.23

¹⁷MOUBRAY, John. Op.cit, p.29

¹⁸MOUBRAY, John. Op.cit., p.8

protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta la apariencia del activo.¹⁹

- **Fallas Funcionales.**

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumpla sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de falla. Sin embargo, Antes de poder aplicar las herramientas adecuadas para el manejo de una falla, se debe identificar que fallas pueden ocurrir²⁰.

El proceso RCM lo hace en dos niveles:

- Identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Además de la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

¹⁹ibid., p.8

²⁰MOUBRAY, John. Op.cit, p.9

- **Modos de Fallas.**

Se puede definir los modos de falla como “cualquier evento que causa una falla funcional”²¹. Al describir cada modo de falla se debe considerar como mínimo un sustantivo y un verbo, tratando de ser lo suficientemente detallados para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada.

Las principales categorías de los modos de falla son:²²

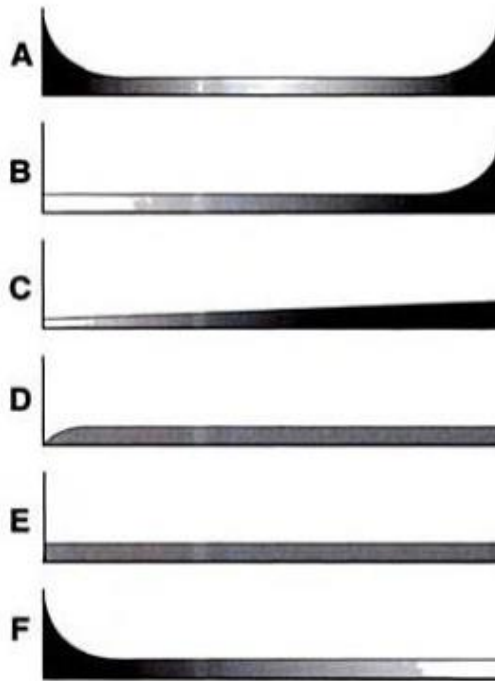
- Capacidad Decreciente: Es cuando un activo físico decae por debajo del funcionamiento deseado una vez puesto en servicio. Sus principales causas son el deterioro, la falta de lubricación, polvo o suciedad, desarme y los errores humanos.
- Aumento del funcionamiento deseado (o del esfuerzo aplicado): Es cuando el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder. El aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta que deja de ser confiable y ya no es útil. Sus principales causas son la sobrecarga deliberada o intencional, de forma constante o repentina, o usar materias primas o materiales de empaque inadecuados.
- Insuficiente capacidad inicial: Es cuando el funcionamiento deseado está fuera de la capacidad inicial desde su comienzo.

Para poder saber cómo se comportan las fallas existen diferentes patrones de falla típicos para los diferentes equipos y componentes. Las gráficas de patrones de falla se dividen en seis tipos básicos, en donde se ilustra la probabilidad de falla contra el tiempo de vida de la máquina.

²¹MOUBRAY, John. Op.cit, p.58

²²MOUBRAY, John. Op.cit, p.61-67

Figura 16. Patrones de Falla.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

- Tipo A: Se conoce comunmente como la curva de la bañera, comienza con una probabilidad de falla alta llamada mortalidad infantil seguida de una probabilidad de falla constante o que aumenta gradualmente, y al final termina con una probabilidad de falla alta que se conoce como la región de desgaste.
- Tipo B: Comienza con una probabilidad de falla constante o que aumenta, seguido de una región marcada de desgaste. Un limite de edad puede ser conveniente. Esta falla es tipica de los motores alternativos.
- Tipo C: La probabilidad de falla aumenta gradualmente, pero no tiene edad de desgaste identificable. La teoria de limite del equipo por lo general no es aplicable. Esta falla es tipica de las turbinas.
- Tipo D: Comienza con una baja probabilidad de falla cuando el articulo es nuevo, seguida por un aumento rápido hasta un nivel relativamente constante.

- Tipo E: Es de probabilidad de falla relativamente constante en todas las edades.
- Tipo F: Comienza con una probabilidad de falla alta o mortalidad infantil, luego decrece hasta un valor relativamente constante o aumenta lentamente. Esta falla es típica en los equipos electrónicos.

Los patrones A y B son típicos de componentes o elementos simples, tales como neumáticos, pastillas de frenos y miembros estructurales. La mayoría de los elementos complejos tienden a tener un comportamiento como el de los patrones C, D, E y F. La diferencia básica entre los patrones de fracaso de los elementos complejos y simples tiene implicaciones importantes para el mantenimiento. Los elementos simples con frecuencia demuestran una relación directa entre la confiabilidad y la edad. Esto es particularmente cierto para factores tales como la fatiga o desgaste mecánico. En estos casos un límite de edad que dependa del tiempo de funcionamiento puede ser eficaz para mejorar la confiabilidad global del equipo.

- **Efectos de las Fallas.**

Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla²³, esta información debe incluir todo lo necesario para ayudar posteriormente en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Cabe aclarar que el efecto de la falla no es lo mismo que la consecuencia de la misma, ya que la primera responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que la segunda responde a la pregunta, ¿Qué importancia tiene?²⁴. Para poder hacer más eficiente esta descripción es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La evidencia de la falla: Define si será evidente para los operarios la pérdida de la función causada por este modo de falla actuando por si solo. Por ejemplo contiene si la falla se asocia a algún tipo de alarma de luz o sonido, ruidos

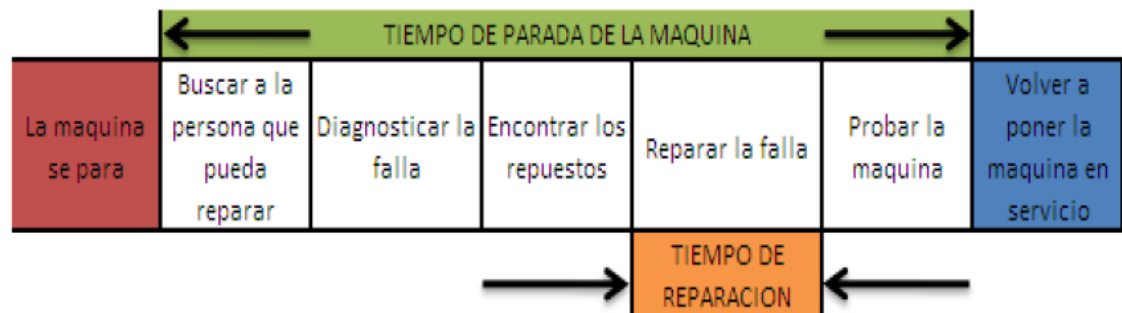
²³MOUBRAY, John. Op.cit, p.76

²⁴MOUBRAY, John. Op.cit, p.77

fuerzas, humo, fugas, olores extraños o parada total de la máquina entre otras²⁵.

- Los riesgos para la seguridad y el medio ambiente: También esta descripción debe contener la información de cómo la falla afecta la seguridad y el medio ambiente de la empresa. Por ejemplo riesgos de incendio o explosiones, escape de productos químicos peligrosos, electrocución, caída de objetos, colapso de estructuras, ingreso de suciedad e impurezas en el producto, inundaciones, etc²⁶.
- Daños secundarios y efectos en la producción: Esto debe aportar claridad para determinar las consecuencias operacionales y no operacionales. Lo más común es describir como durante el tiempo de falla queda afectada la producción (si es que la afecta), esto tiene que ver con el tiempo de parada de la máquina ocasionada por la falla (Ver figura 17). Otros datos adicionales son la forma cómo afecta la calidad y el servicio al cliente, el incremento de los costos operativos y los daños secundarios²⁷.

Figura 17. Tiempo de Parada de la Máquina Vs. Tiempo de Reparación



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

²⁵Ibid., p.77


²⁶MOUBRAY, John. Op.cit, p.78

²⁷MOUBRAY, John. Op.cit, p.79

- **Nivel de Análisis y la Hoja de Información.**

La selección del nivel de análisis dice con cuanto detalle se va a realizar el análisis RCM. Por lo general se seleccionan niveles altos (menor detalle) si el componente o sistema admite trabajar a Rotura, y niveles más bajos (mayor detalle) si el modo de falla está sujeto a algún tipo de programa de mantenimiento. Toda la información debe ser consignada y codificada en la hoja de información del proceso RCM (Figura 18).

Figura 18. Hoja de Información RCM

| | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB HOJA DE INFORMACION RCM | | | | | | REV.:0 | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------|-----------------|----|---------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--|
|  | | SISTEMA | | | | | | Facilitador | | Hoja N°: | |
| | | SUBSISTEMA | | | | | | Karen Mendoza, Yarlyn Salas | | de | |
| F | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA "P" | GRAVEDAD DE FALLA "G" | PROBABILIDAD DE NO DETECCIÓN "D" | INDICE DE PRIORIDAD DE RIESGO "IPR" | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

- **Consecuencias de las Fallas.**

Como vimos anteriormente cada uno de los modos de fallo afecta de diversas formas la organización, y cada uno de ellos tomara tiempo y costaran dinero, siendo este el objetivo para intentar prevenir o predecir cada modo de falla. Esto quiere decir que según la importancia o consecuencia de cada modo de falla determinara el esfuerzo para poder evitarla, dándole mayor importancia a aquellas que tienen una mayor incidencia en la empresa.

El primer paso es separar las funciones ocultas de las evidentes, definiendo como función evidente “aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales”²⁸. Por otro lado la función oculta es “aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo

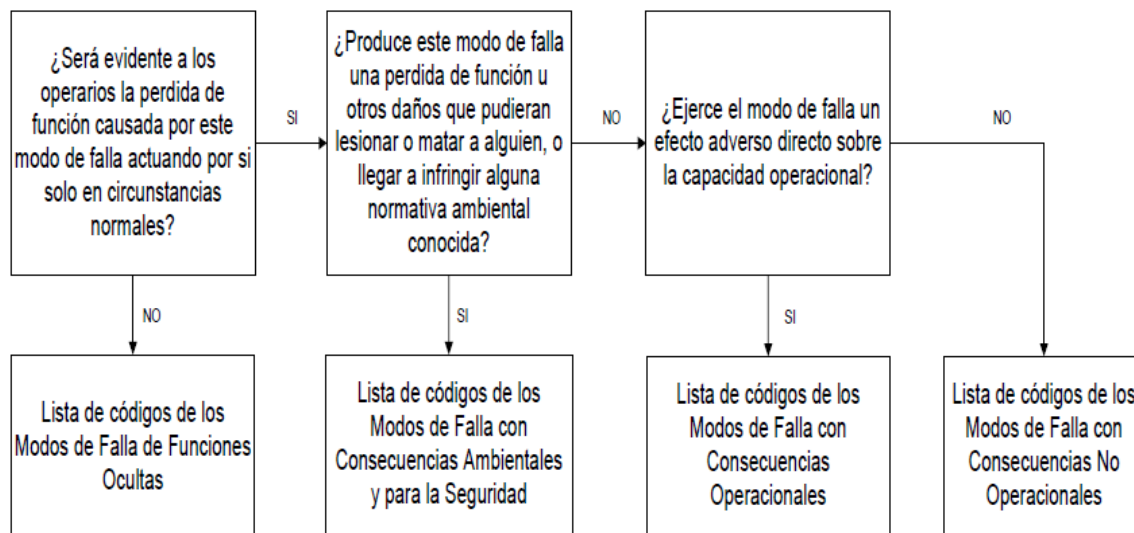
²⁸MOUBRAY, John. Op.cit, p.96

circunstancias normales si se produce por si sola”²⁹. El proceso RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- **Consecuencia de las fallas ocultas:** Las fallas ocultas se presentan generalmente en dispositivos de seguridad, y estos dispositivos pueden ser con seguridad inherente (se evalúa en fallas evidentes) o sin ella, entendiéndose esto como aquel que cuando este es incapaz de cumplir con la función no es evidente en circunstancias normales. Este tipo de fallas pueden ocasionar fallas múltiples que es cuando una función protegida falla mientras el dispositivo de protección se encuentra en estado de falla.
- **Consecuencias para la seguridad y el Medio ambiente:** Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudiera lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencia para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional.
- **Consecuencias operacionales:** Las fallas afectan y tienen consecuencias operacionales si afectan la producción o a las operaciones en cuanto al volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación. La diferencia entre evaluar las consecuencias para la seguridad y medio ambiente con las operacionales, es que la primera busca reducir la probabilidad de falla a niveles realmente bajos, y la segunda busca reducir la probabilidad de falla a un nivel económicamente aceptable.
- **Consecuencias no operacionales:** Son aquellas consecuencias que no ejercen un efecto adverso directo para la seguridad, el medio ambiente, o la capacidad operacional. Solo tiene consecuencias en los costos directos de reparación. En este caso es necesario tener en cuenta los daños secundarios que pueda causar la falla.

²⁹MOUBRAY, John. Op.cit, p.97

Figura 19. Evaluación de las consecuencia de falla



Fuente: SOPORTE Y CÍA. LTDA, Curso Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

La evaluación de las consecuencia de falla se puede resumir en el anterior esquema el cual evalúa las fallas clasificándolas si son evidentes u ocultas, si merece la pena realizar algún mantenimiento proactivo o sugiere que acción puede tomarse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada. Los diferentes tipos de tareas se describirán a continuación.

- **Mantenimiento Proactivo: Tareas Preventivas.**

Antes de entrar a definir las tareas de mantenimiento es necesario preguntarnos si una tarea es técnicamente factible, esto es cuando esta permite reducir las consecuencias de un modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable para el dueño del activo.

Ahora, todos los activos físicos están en contacto con el mundo real, siendo sometidos a una variedad de esfuerzos, causando su deterioro y llevándolos al punto de falla. Estos esfuerzos son medidos en cantidad producida, distancia recorrida, ciclos operacionales cumplidos, tiempo calendario o tiempo de

funcionamiento, lo que nos indica que para algunos casos hay una conexión entre el grado de deterioro y la edad del componente. Este tipo de fallas se asocian a los patrones de falla A,B y C descritos en los modos de falla, que sugiere que para este tipo de falla existe una conexión entre la falla y la edad del componente³⁰. En general esto se relaciona con desgaste, fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

El proceso RCM divide el mantenimiento preventivo en dos partes:

- Las Tareas de reacondicionamiento ciclico: Estas consisten en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el limite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento.
- Tareas de Sustitución ciclica: Consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el limite de edad definida, independientemente de su condición en ese momento. La frecuencia de este tipo de tareas la define la edad en la que aumenta la probabilidad de falla.

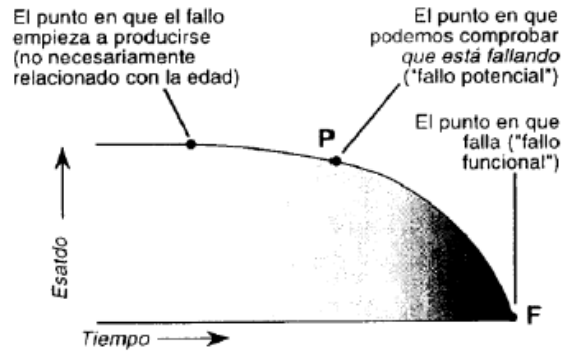
- **Mantenimiento Proactivo: Tareas Predictivas.**

Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir. “Las *Tareas a condición* o predictivas consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional”³¹. En la figura 18 se puede observar la curva P-F en la cual se muestra como comienza la falla, el punto donde es posible detectarla (P) y el punto donde causa la falla funcional (F).

³⁰MOUBRAY, John. Op.cit, p.137

³¹MOUBRAY, John. Op.cit, p.149

Figura 20. Curva P-F



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

Existen cuatro principales categorías de técnica a condición³²:

- Técnicas de monitoreo de condición que implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos. Estos equipos monitorean efectos dinámicos, de partículas, físicos, térmicos y eléctricos en los equipos.
- Técnicas basadas en variación de la calidad del producto.
- Monitoreo de efectos primarios, como velocidad, caudal, presión, temperatura, potencia, corriente, etc., que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipos de monitoreo de procesos.
- Técnicas de inspección basados en los sentidos humanos.

• **Otras acciones de mantenimiento o Acciones a Falta de.**

Estas acciones se usan cuando no es posible hallar para un modo de falla una tarea que sea técnicamente factible y que merezca la pena ser realizada. Estas tareas se clasifican en:

- **Tareas de Búsqueda de Falla:** Son aquellas diseñadas para verificar si algo todavía funciona o no, y no solo se aplican a fallas ocultas o no reveladas. La

³²MOUBRAY, John. Op.cit, p.153

mejor manera de realizar esta tarea es simula las condiciones en las que el dispositivo debería responder.

- **Mantenimiento Correctivo o ningún mantenimiento programado:** Es válido cuando no se puede encontrar una tarea cíclica para una función oculta y la falla oculta no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- **Rediseño:** En el caso de las fallas que tienen consecuencias para la seguridad y medio ambiente, sin poder encontrar ninguna otra tarea que sea factible aplicarla, la acción de rediseño es obligatoria, para los otros casos debe justificarse el rediseño del componente.
- **Recorridas de Inspección:** Sirven para determinar daños accidentales o para determinar problemas debidos por negligencia como materiales peligrosos, objetos extraños abandonados, derrames y otros conceptos relacionados con la limpieza y conservación del lugar de trabajo.

- **Proceso de selección de tareas RCM.**

Un punto fuerte del RCM es la manera en que provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto operacional dado (si existe alguna), y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencias.

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por las características técnicas de la tarea y de la falla que pretende prevenir. Si vale la pena hacerlo o no depende de la manera en que maneja las consecuencias de la falla. De no hallarse una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, entonces debe tomarse una acción a falta de adecuada. La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente:

- Para fallas ocultas, la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla múltiple asociado con esa función a un nivel tolerablemente bajo.

Si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla. De no hallarse una tarea de búsqueda de falla que sea adecuada, la decisión “a falta de” secundaria indicará que el componente pueda ser rediseñado.

- Para fallas con consecuencias ambientales o para la seguridad, una tarea proactiva solo vale la pena si por si sola reduce el riesgo de la falla a un nivel muy bajo, o directamente lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.

- Si la falla tiene consecuencias operacionales, una tarea proactiva solo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un cierto periodo de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo periodo de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión “a falta de” inicial es ningún mantenimiento programado.

- Si una falla tiene consecuencias no operacionales solo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un periodo de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también deben tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.

Este enfoque significa que las tareas proactivas son solo definidas para las fallas que realmente lo necesitan, lo que a su vez lleva a reducciones sustanciales en cargas de trabajo de rutina. Un menor trabajo de rutina también significa que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto,

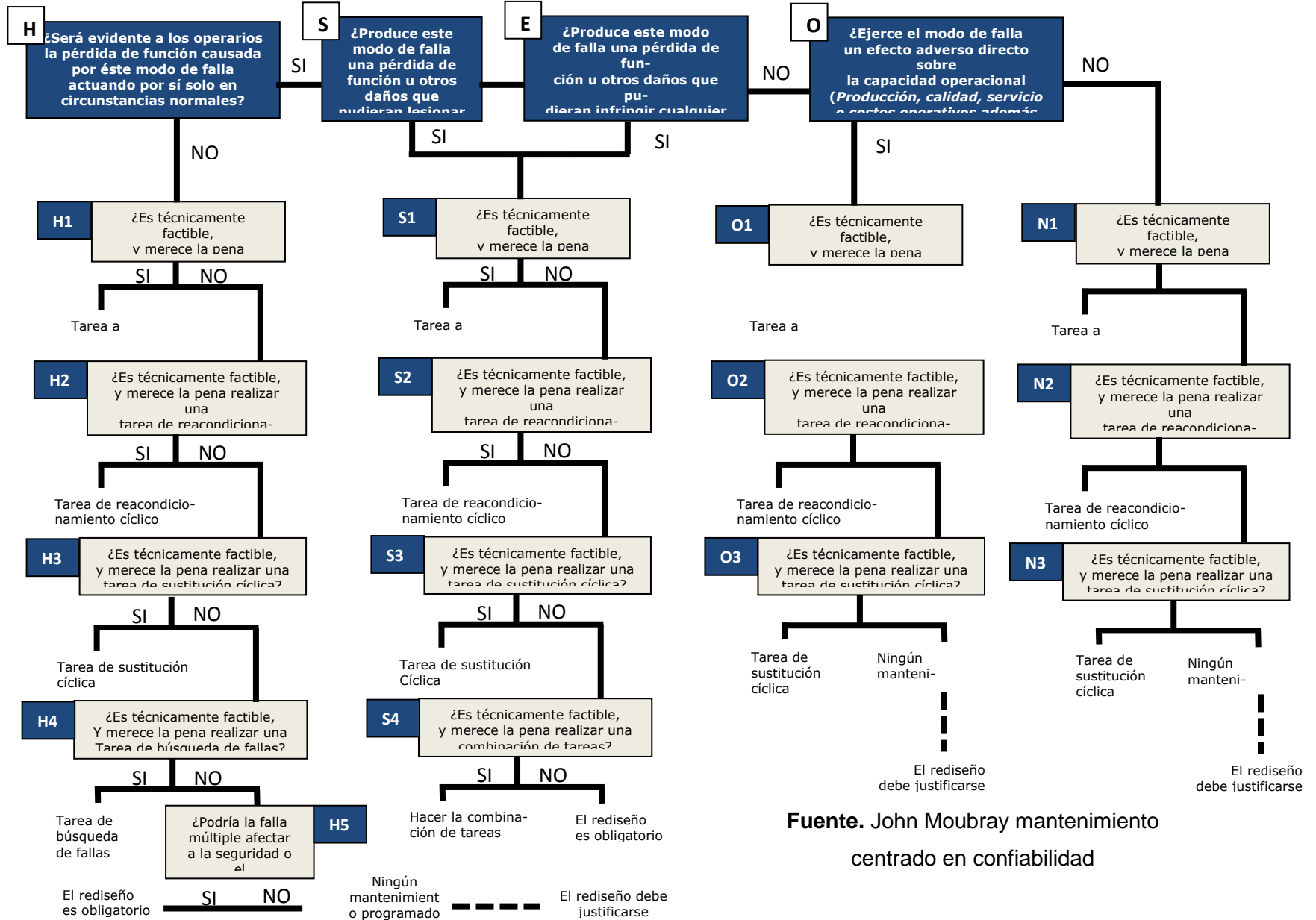
sumado a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo.

- **El Diagrama de Decisión de RCM.**

Para poder llegar a establecer cuál es la técnica de mantenimiento más adecuada para poder prevenir o predecir las fallas, es necesario realizar una metodología de decisiones de mantenimiento llamada Diagrama de Decisión de RCM en la cual se determina cual técnica es técnicamente factible en el contexto operacional dado para el activo. Todo esto es analizado ampliamente tomando como punto de referencia las consecuencias de las fallas en la empresa. En la primera parte del diagrama se analizan si el modo de falla es evidente u oculto, y se elige cual es la mejor tarea para tratar fallas de funciones ocultas. En la segunda parte se analizan las fallas con consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, y las dos últimas partes analizan las fallas con consecuencias operacionales y no operacionales.(Ver Figura 21).


La información tomada del diagrama de decisión RCM se debe consignar en la Hoja de Decisión RCM (Figura 22) en la cual se aprecia si el código de la falla, que tipo de consecuencias tiene, cual es la actividad de mantenimiento propuesta, su frecuencia y quien la realizara.

Figura 21. Diagrama de Decisión RCM



Fuente. John Moubray mantenimiento centrado en confiabilidad

Figura 22. Hoja de Decisión RCM

| DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB | | | | | | | | | | | | | REV.:0 | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------------------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|--------------------------|------------------|--|
| HOJA DE DECISIÓN RCM | | | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA | | | | | | | | | | | | | Facilitador | Hoja Nº | |
|  | | | | | | | | | | | | | KAREN MENDOZA HERRERA | | |
| | | | | | | | | | | | | | SUBSISTEMA | | |
| | | | | | | | | | | | | | ROSSVAN PLATA VILLAMIZAR | | |
| Referencia de Información | | | Evaluación de las consecuencias | | | | H1 | H2 | H3 | Acción a Falta de | | | INTERVALO INICIAL | A REALIZARSE POR | |
| F | FF | FM | H | S | E | O | S1 | S2 | S3 | | | | | | |
| | | | | | | | O1 | O2 | O3 | H4 | H5 | H6 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

7.2.6 Aplicación del Proceso RCM

Como ya se ha visto anteriormente el proceso RCM inicia con un registro completo de la planta, en el cual se ilustran los diferentes niveles de jerarquía dentro de la empresa. Seguidamente se tienen que planear y evaluar los recursos requeridos, justificando la inversión y conformación de un grupo de trabajo el cual se encargara de revisar y auditar el proceso, seguido de capacitaciones al personal. En la Figura 21 se muestra que personas pueden integrar un grupo de revisión RCM, en el cual el papel más importante lo cumple el facilitador, el cual es el especialista en el proceso RCM.

Como resultado de este proceso se obtendrá planes de mantenimiento, procedimientos de operación y cambios en los diseños en los activos; todo esto debe ser auditado por los gerentes responsables, los cuales deben comprender las decisiones tomadas y aprobarlas.

Figura 23. Grupo de Revisión RCM



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2004

8. CONOCIMIENTO DEL TALLER DE MÁQUINAS DE GRB

8.1. GENERALIDADES

La gerencia refinería de Barrancabermeja se encuentra dividida en la gerencia técnica y la gerencia de producción, el departamento de mantenimiento hace parte fundamental de la gerencia de producción; debido al apoyo que se realiza a las labores de producción de todas las áreas operativas de la refinería, mencionadas en el numeral 6.2.

El Departamento de Mantenimiento constituye parte fundamental para el proceso de refinación que se lleva a cabo, además de ser el departamento con mayor número de funcionarios; actualmente se encuentran laborando 443 trabajadores directos y aproximadamente 150 trabajadores indirectos. Tiene como función, encargarse de la reparación de equipos rotativos y estáticos de cada área específica, ya sea, que dicha reparación se realice en los talleres o en cada unidad operativa.

Como ya se mencionó, el Departamento se encuentra dividido en cuatro coordinaciones, (Coordinación de mantenimiento proactivo centralizado, coordinación de mantenimiento proactivo en las áreas, coordinación de mantenimiento, calidad y talleres; Coordinación de administración de inventarios y herramientas), cuyo propósito fundamental es direccionar el proceso de mantenimiento con el fin de cumplir con estándares de calidad y especificaciones dentro ventanas operativas.

El jefe del departamento de Mantenimiento, es el encargado de dirigir y coordinar las acciones que se llevan a cabo en el proceso de mantenimiento, asimismo, es quien toma las respectivas decisiones, enfocadas en la mejora continua y confiabilidad del departamento de mantenimiento, con el apoyo de los

coordinadores de cada una de las cuatro coordinaciones que conforman el departamento.

Las coordinaciones del departamento de mantenimiento, lo conforman el coordinador, supervisor y el personal requerido para cada labor, este personal puede rotar de un área a otra según la necesidad de demanda de servicio de mantenimiento requerido en cada unidad operativa.

Las coordinaciones tienen relación directa entre sí; semanalmente, los coordinadores de cada una de ellas se reúnen, con el fin de evaluar el cumplimiento de compromisos y objetivos trazados para dicha semana, a su vez se evalúan estrategias para realización de mejoras en el proceso de mantenimiento.

La coordinación de mantenimiento proactivo en las áreas cuenta actualmente con 190 integrantes de todas las especialidades (especialidad de Mecánica, especialidad de electricidad, especialidad de instrumentos y especialidad de metalmecánica), los cuales son divididos en cada cuadrilla, dependiendo del requerimiento laboral de la misma.

Semanalmente, el día martes, la coordinación lleva a cabo una reunión sistemática, en el taller de mecánica, con los líderes de cuadrillas y supervisores de cada área; en esta reunión se realiza un momento de HSE, se evalúan los indicadores de equipo rotativo instalado y equipo rotativo confiable, así como el cumplimiento de la programación semanal, con el fin de tomar las medidas respectivas, para el cumplimiento de las metas de cada uno de los indicadores mencionados.

Asimismo, el Taller de Máquinas realiza una reunión de inicio de turno, diariamente, donde se evalúan los trabajos realizados el día anterior, los trabajos a realizar ese día, se tratan temas de seguridad industrial y se evalúan la cantidad de equipos que han sido reparados y aquellos que se encuentran en espera, con

el fin de tener conocimiento de la cantidad de equipos que se tienen que reparar, para el cumplimiento de la meta mensual.

En el Taller de Máquinas, los productos específicos que se generan del proceso de ejecución del mantenimiento, son las diferentes clases de equipos rotativos reparados, los cuales varían según el área productiva. Los equipos que hacen parte del proceso son equipos rotativos (bombas, turbinas, ventiladores, extractores de aire, agitadores y compresores).

8.2 PROCESO DE EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ROTATIVOS EN EL TALLER DE MÁQUINAS.

El proceso de ejecución del mantenimiento de los equipos rotativos, se desarrolla de acuerdo a procedimientos, estándares, instructivos y normativas vigentes dentro de la refinería de Barrancabermeja.

Este proceso inicia desde la generación de la orden de trabajo y su respectiva elaboración; lo anterior se encuentra a cargo del equipo de planeación de cada área operativa. En la orden de trabajo se especifica las tareas a realizar al equipo (Ver figura 24).

Una vez se ha realizado lo anterior se procede al transporte del equipo al Taller de mecánica, se ubica en la zona de almacenamiento de entrada de equipos, allí permanece hasta que se da inicio al proceso de mantenimiento.

El proceso de ejecución de mantenimiento, se lleva a cabo de acuerdo a las siguientes etapas, ver figura 25.

Figura 24. Proceso de Planeación y Programación del Mantenimiento.



Fuente. Coordinación de mantenimiento proactivo en las Áreas.

- **Desarme:** Consiste en el desacople de cada una de las partes del equipo.
- **Lavado:** Lavado de las partes desacopladas.
- **Calibración de partes:** Medición de partes esenciales del equipo, tales como: caja de balineras, impulsor, eje, acople, camisa de sello, cabezote y cuerpo.
- **Recuperación de partes y/o compra de repuestos:** Consiste en la recuperación de piezas por medio de mecanizado, asimismo la compra de repuestos.
- **Sellos:** Acople de cada una de las partes, sello/gobernador reparado, repuestos, entre otros.
- **Pruebas:** Aseguramiento de alineación adecuada del sello del equipo.

El proceso finaliza con el acople del equipo, en la respectiva área, y su verificación y certificación de funcionamiento por parte del soporte técnico.

Figura 25. Diagrama de flujo de procesos de reparación de equipos rotativos.



El Taller de Máquinas cuenta con un total de 24 máquinas herramientas, para brindar el servicio de mantenimiento a los diferentes equipos de las áreas productivas, ver tabla 7.

Tabla 7. Equipos Propios Taller de Máquinas

| Número | NOMBRE | MARCA | MODELO |
|--------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | BALANCEADORA | SCHENK | H6V |
| 2 | BALANCEADORA | SCHENK | H2N |
| 3 | ALESADORA | LUCAS | 42B-30 |
| 4 | ALESADORA | DEFUM | ADS115 |
| 5 | TORNO VERTICAL | DEFUM | KNA-110/135 ^a |
| 6 | TORNO VERTICAL | DEFUM | KNA-110/135 ^a |
| 7 | TORNO HORIZONTAL | MEEHANITEC | CU582 |
| 8 | TORNO HORIZONTAL | MASHSTROY | C10TM |
| 9 | TORNO HORIZONTAL | MASHSTROY | C11TM80 |
| 10 | TORNO HORIZONTAL | POREBA | TCC-160 |
| 11 | TORNO HORIZONTAL | ROMI | E45B |
| 12 | TORNO HORIZONTAL | MASHSTROY | C490 |
| 13 | TORNO HORIZONTAL | MASHSTROY | C11TM80 |
| 14 | TORNO PORTATIL | CLIMAX | FF40 |
| 15 | FRESADORA UNIVERSAL | KEARNEY Y TRECKER | EQ2540 |
| 16 | TALADRO RADIAL | CARLTON | 3A |
| 17 | TALADRO RADIAL | CARLTON | 3A |
| 18 | LIMADORA | ATLAS | W8 |
| 19 | ROSCADORA | LANDIS | 19-20 |
| 20 | MORTAJADOR | J-BEHR | ST150 |
| 21 | RECTIFICADORA PLANA | JAKOBSEN | SJ1424 |
| 22 | RECTIFICADORA CILINDRICA | LANDIS | |
| 23 | SIERRA | DOALL | 3613-1 |
| 24 | SIERRA | RACINE | |

9. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD TALLER DE MÁQUINAS - DPTO DE MANTENIMIENTO – GRB

La jornada de trabajo en el taller de máquinas de la GRB es de 24 horas al día, en donde se maneja turnos de 8 horas (6:00a.m-2:00p.m, 2:00p.m-10:00p.m, 10:00p.m-6:00a.m.) con algunos trabajadores y con otros en horario pito (7:00 a.m.-4:00p.m). A pesar de las horas constantes de trabajo se genera una inconsistencia con respecto al tiempo continuo de rutinas diarias a realizar para la preservación de los activos. Debido a esto las tareas de mantenimiento a realizar para los activos del taller de máquinas deben de ser programadas, ya que éste brinda una disponibilidad permanente durante el día de trabajo.

•ETAPAS DE TRABAJO

- A. Reconocimiento de la empresa, el taller de máquinas y su proceso
- B. Reconocimiento de los equipos del taller
- C. Codificación de máquinas herramientas del taller
- D. Recopilación de la información técnica de las maquinas
- E. Análisis de criticidad de los equipos por factores ponderados.
- F. Realización de la base de datos: funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla, consecuencias.
- G. Síntesis del proceso de evaluación mediante IPR
- H. Diagrama de decisión
- I. Efectividad del mantenimiento
- J. Plan de mantenimiento anual equipos
- K. Alimentación del sistema de información ELLIPSE.

La primera etapa fueron descritas en el numeral 7.1 y en el capítulo 8, en donde se explicaba las características de la empresa Ecopetrol S.A., su misión, su visión, las políticas de calidad, sus valores corporativos, números de empleados y la capacidad de producción de la empresa. También se explicó el proceso y las actividades de mantenimiento que realiza el taller de máquinas de la GRB.

9.1 LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS

9.1.1. Alesadora

En la refinería existen 2 Alesadoras en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|---------------|---------|-------|
| 1 | ALESADORA #08 | 42B-30 | LUCAS |
| 2 | ALESADORA #47 | ADS-115 | DEFUM |



ALESADORA #08



ALESADORA #47

La Alesadora es una máquina herramienta que realiza el proceso de alesado que consiste en ensanchar un agujero a fin de dejarlo exactamente a la medida

deseada. La herramienta arranca la viruta según una trayectoria circular; pero el movimiento de avance (rectilíneo y constante) lo tiene la pieza. La herramienta va montada sobre un mandril especial giratorio, mientras la pieza es fijada sobre la bancada de la máquina. Y la pieza es la que avanza axialmente hacia la herramienta que gira.

Con el alesado se obtienen superficies cilíndricas o cónicas internas, según ejes perfectamente paralelos entre si y a distancias precisas con tolerancias. La alesadora permite realizar el rebajado de zonas circulares exteriores normales a los agujeros; las roscas interiores también son realizadas empleando herramientas apropiadas.

9.1.2. Balanceadora

En la refinería existen 2 Balanceadoras en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|------------------|--------|--------|
| 1 | BALANCEADORA #31 | H6V | SCHENK |
| 2 | BALANCEADORA #32 | H2N | SCHENK |

Una máquina balanceadora es una máquina especialmente diseñada para cumplir tres funciones fundamentales:

- Soportar el rotor a ser balanceado, con facilidad de montaje y desmontaje
- Hacer girar el rotor a una velocidad de balanceo preestablecida, y
- Medir el efecto dinámico del desbalance y calcular los pesos de corrección necesarios en cada plano de balanceo.



BALANCEADORA #31



BALANCEADORA #32

Estas máquinas miden la amplitud y el ángulo de fase de las fuerzas aplicadas a los cojinetes o del movimiento de los soportes, respectivamente. Luego, sobre la base de que el rotor se comporta de manera completamente rígida, calculan la cantidad y posición angular de las masas a agregar o quitar en cada plano de balanceo.

9.1.3. Fresadora Universal

En el taller de máquinas de la GRB hay una Fresadora Universal.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|---------------------------|---------|---------|
| 1 | FRESADORA UNIVERSAL N° 36 | EQ-2540 | KEARNEY |



FRESADORA UNIVERSAL #36

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otra más compleja.

Las herramientas de corte más utilizadas en una fresadora se denominan fresas aunque también pueden utilizarse otras herramientas para realizar operaciones diferentes al fresado, como brocas para taladrar o escariadores. Las fresas son herramientas de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se quiera realizar. Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, números de labios o dientes que tenga y el sistema de sujeción a la máquina.

9.1.4. Limadora

En la refinería de Barrancabermeja hay una Limadora en el taller de máquinas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|-------------|--------|-------|
| 1 | LIMDORA 10 | W8 | ATLAS |



LIMADORA #10

La limadora es una máquina herramienta para el mecanizado de piezas por arranque de viruta, mediante el movimiento lineal alternativo de la herramienta o movimiento de corte. La mesa que sujeta la pieza a mecanizar realiza un movimiento de avance transversal, que puede ser intermitente para realizar determinados trabajos, como la generación de una superficie plana o de ranuras equidistantes. Asimismo, también es posible desplazar verticalmente la herramienta o la mesa, manual o automáticamente, para aumentar la profundidad de pasada.

La limadora permite el mecanizado de piezas pequeñas y medianas y, por su fácil manejo y bajo consumo energético.

9.1.5. Mortajador

En la refinería existe 1 mortajadora ubicada en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|---------------|--------|--------|
| 1 | MORTAJADOR 33 | C-490 | SPRINT |



MORTAJADOR #33

La Mortajadora es una máquina en la que se realizan ranuras interiores, dentados interiores, vaciados, perfilados de superficie con bordes curvos. Las mortajadoras son adecuadas para elaborar superficies de diversas formas y especialmente para la elaboración de ranuras, chaveteros, etcétera, interiores y exteriores en la producción individual y en pequeñas series.

9.1.6. Torno Vertical

En la refinería existe 2 Tornos verticales ubicada en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|--------------------|--------------|-------|
| 1 | TORNO VERTICAL #13 | KNA-110/135A | DEFUM |
| 2 | TORNO VERTICAL #46 | KNA-110/135A | DEFUM |



TORNO VERTICAL #46



TORNO VERTICAL #13

El torno vertical es una máquina herramienta para dar forma a una pieza de metal, u otro material haciéndola girar con rapidez contra un dispositivo de corte que permanece fijo.

Es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores, y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.

Los tornos verticales tienen el eje dispuesto verticalmente y el plato giratorio sobre un plano horizontal, lo que facilita el montaje de las piezas voluminosas y pesadas. Es pues el tamaño lo que identifica a estas máquinas, permitiendo el mecanizado integral de piezas de gran tamaño.

- Utilización De Los Tornos Verticales

Los tornos verticales sirven para el maquinado de piezas pesadas. Tales piezas no pueden ser sujetadas por su dimensión ó por su masa en un plato vertical. Ellas colgarían de los elementos de sujeción y existiría un gran peligro de que se soltaran. Piezas no simétricas deberían ser balanceadas con grandes masas de compensación.

Ejemplos de trabajos: montantes, carcasas de turbinas, anillos de ruedas de ferrocarril, tapas para calderas y recipientes, superficies de junta en válvulas grandes.

9.1.7. Torno Horizontal

En la refinería existen 7 Tornos horizontales en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|-------------|-------------|--------------|
| 1 | TORNO # 26 | CU-582 | MEEHANITEC |
| 2 | TORNO # 66 | C-10YM | MM- BULGARIA |
| 3 | TORNO # 39 | C-490 | SPRINT |
| 4 | TORNO # 11 | C -11 TM 80 | MASHSTROY |
| 5 | TORNO # 12 | C -11 TM 80 | MASHSTROY |
| 6 | TORNO # 45 | TCC-160 | POREBA |
| 7 | TORNO # 17 | E-45 | ROMY |

El torno horizontal es una máquina herramienta para dar forma a una pieza de metal haciéndola girar con rapidez contra un dispositivo de corte que permanece fijo. El torno es una de las máquinas herramientas más antiguas e importantes. Puede dar forma, taladrar, pulir y realizar otras operaciones, tales como: torneado de superficies cilíndricas, y cónicas con suministro (avance) longitudinal y

transversal roscados de todos los tipos de roscas standarts, fileteado interior y exterior.

9.1.8. Taladro Radial

En la refinería existen 2 Taladros radiales en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|---------------------|--------|---------|
| 1 | TALADRO RADIAL # 30 | 3A | CARLTON |
| 2 | TALADRO RADIAL # 31 | 3A | CARLTON |



TALADRO RADIAL # 30



TALADRO RADIAL # 31

Los taladros radiales se caracterizan por el brazo radial lo que permite la colocación de la cabeza a diferentes distancias de la columna y también la rotación de la cabeza alrededor de la columna. Con esta combinación de

movimiento de la cabeza, se puede colocar y sujetar el husillo para taladrar en cualquier lugar que esté al alcance de la máquina, Esta flexibilidad de colocación del husillo hace a los taladros radiales especialmente apropiados para piezas grandes El peso de la cabeza es un factor importante para conseguir una precisión de alimentación eficiente sin una tensión indebida del brazo. Son considerados como los más eficientes y versátiles.. Además, la preparación es rápida y económica debido a que, pudiéndose retirar hacia los lados tanto el brazo como la cabeza, por medio de una grúa, se pueden bajar directamente las piezas pesadas sobre la base de la máquina.

9.1.9. Roscadora

En la refinería existe 1 Roscadora en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|---------------|---------|--------|
| 1 | ROSCADORA# 34 | 19 - 20 | LANDIS |



ROSCADORA# 34

La roscadora es una máquina herramienta que permite roscar superficies de diferentes diámetros. El roscado consiste en la mecanización helicoidal interior (tuercas) y exterior (tornillos) sobre una superficie cilíndrica. Este tipo de sistemas de unión y sujeción (roscas) está presente en todos los sectores industriales en los que se trabaja con materia metálica.

9.1.10. Torno Portátil

En la refinería existe 1 Torno portátil en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|--------------------|--------|--------|
| 1 | TORNO PORTATIL #01 | FF40 | CLIMAX |



TORNO PORTÁTIL # 01

El torno portátil es una máquina herramienta que permite el mecanizado de piezas, donde estas tienen un movimiento de rotación alrededor del eje, así pues el torno verifica el movimiento de corte y la pieza el avance. Es una máquina herramienta para dar forma a una pieza de metal haciéndola girar con rapidez contra un dispositivo de corte que permanece fijo. Es una máquina que se puede

utilizar para desbaste y acabado torneado, taladro, piso, cono-torneado y taladro de componentes pesados y muy pesados en una puesta a punto.

9.1.11. Rectificadora Cilíndrica

En la refinería existe 1 Rectificadora cilíndrica en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|-----------------------|------------|--------|
| 1 | RECT. CILINDRICA # 01 | MODEL 5-RE | LANDIS |



RECT. CILINDRICA # 01

La rectificadora cilíndrica es una máquina herramienta que puede funcionar de una variedad de formas, sin embargo, la pieza debe tener un eje central de rotación. Esto incluye pero no se limita a las formas tales como un cilindro, un cono, una elipse, una leva o un cigüeñal. También se distinguen varios subtipos:

Rectificadoras cilíndricas externas: el rectificado se realiza en la superficie externa de una pieza entre centros, los cuales permiten la rotación de la misma. A su vez,

la muela también gira en la misma dirección cuando entra en contacto con la pieza.

Rectificadoras cilíndricas internas: el rectificado se realiza en el interior de una pieza. La muela abrasiva es siempre menor que el ancho de la pieza. Un anillo metálico sostiene a la pieza, imprimiéndole el movimiento

9.1.12. Rectificadora Plana

En la refinería existe 1 Rectificadora plana en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|------------------|--------|----------|
| 1 | RECT. PLANA # 16 | SJ1424 | JAKOBSEN |



RECT. PLANA # 16

La rectificadora plana es una máquina herramienta, utilizada para conseguir mecanizados de precisión tanto en dimensiones como en acabado superficial, a

veces a una operación de rectificado le siguen otras de pulido y lapeado. El Rectificado es un procedimiento de conformación por arranque de viruta basado en la acción cortante de unos cuerpos abrasivos llamados muelas. Una muela cualquiera se compone del abrasivo propiamente dicho, en forma de granos, y de un producto aglomerante cuya misión es aglutinarlo.

9.1.13. Sierra Doall

En la refinería existe 1 sierra sin fin ubicada en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MODELO | MARCA |
|------|-------------|--------|-------|
| 1 | SIERRA | DBW-15 | DOALL |



SIERRA #01

Máquina herramienta compuesta de un bastidor generalmente en forma de cuello de cisne soportando dos volantes equilibrados superpuestos en un mismo plano vertical y sobre los cuales se enrolla una hoja dentada llamada cinta altamente

flexible que es cortada y soldada de acuerdo al diámetro de los volantes, produciendo el corte por deslizamiento continuo sobre la pieza a cortar.

La sierra puede realizar una amplia variedad de cortes, incluyendo tales cortes rectos longitudinales, transversales.

9.1.14. Sierra Mecánica

En la refinería existe 1 sierra mecánica ubicada en el taller de máquinas herramientas.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | MARCA |
|------|-----------------|--------|
| 1 | SIERRA MECÁNICA | RACINE |



SIERRA MECANICA #21

La sierra alternativa se utiliza para cortar trozos de barras (macizas o huecas) de cualquier tipo de sección. Su funcionamiento es sencillo y consiste en moverse alternativamente. La hoja de corte tiene animación de un movimiento alternativo, avanzando y elevándose automáticamente en la pieza.

- **Situación actual del Mantenimiento en el Taller de Máquinas.**

Actualmente, a la mayoría de las maquinas del Taller de Máquinas se le realiza una limpieza diaria, una lubricación en ciertos intervalos de tiempo e inspecciones las cuales se dividen en 3 niveles:

Nivel 1: Observación diaria. La lleva a cabo el operario. Implica la observación del funcionamiento de la máquina herramienta en su ciclo normal de trabajo comprobando y verificando todas sus funciones. Para esto es necesario llevar a cabo la lista chequeo diaria

Este trabajo es adjudicado al operario e inspeccionado por el supervisor

Nivel 2: Inspección menor. A cargo de un operador de mantenimiento especialmente entrenado, con buenos conocimientos de máquinas herramientas y sistemas eléctricos e hidráulicos. Inspecciones que no es necesario parar la máquina. Incluye el nivel 1.

Nivel 3: inspección general. Incluye los niveles 1,2 y requiere paro de máquina.

9.2 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS.

El proceso de codificación de los equipos ya venía dado de alguna forma por normas legales de la empresa. Si se requiere cambiar algún código o nombre de las áreas, se debe realizar un proceso con el líder encargado de ELLIPSE del Departamento de mantenimiento, en donde se certifique los cambios hechos en la estructura jerárquica de los equipos del departamento de mantenimiento.

Lo que se realizó en este punto fue agregar los equipos del plan, ya que estos no estaban incluidos en ésta, por lo tanto a los códigos establecidos con anterioridad se le agregaron los que pertenecen a este trabajo de grado.

Todos los equipos del taller han sido codificados por medio de un código que consta de 3 campos:

- Primer campo:

Indica la ubicación de los equipos en las áreas y se describe por la primera letra de cada palabra como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Códigos de las áreas del Departamento de Mantenimiento

| ÁREA | CÓDIGO |
|---------------------------------|--------|
| Taller de máquinas herramientas | TMH |
| Taller de mecánica | TMC |
| Taller de sellos y gobernadores | TSG |

- Segundo campo:

Indica el tipo de equipo o herramienta como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Alternativo según el tipo de equipo

| NOMBRE | ALTERNATIVO |
|--------------------------|-------------|
| BALANCEADORA | BL |
| ALESADORA | AL |
| TORNO VERTICAL | TV |
| TORNO HORIZONTAL | TH |
| TORNO PORTATIL | TP |
| FRESADORA UNIVERSAL | FR |
| TALADRO RADIAL | TR |
| LIMADORA | LM |
| ROSCADORA | RS |
| MORTAJADOR | MT |
| RECTIFICADORA PLANA | RP |
| RECTIFICADORA CILINDRICA | RC |
| SIERRA | SR |

- Tercer campo

Indica el código del número de los equipos.

Por ejemplo si hay dos balaceadoras se escribirían de la siguiente manera:

MH-BL-31, MH-BL-32

Tabla 10. Código de número para cada equipo

| NOMBRE | CODIGO | ALTERNATIVO |
|-----------------------------|--------|-------------|
| BALANCEADORA | 31 | BL |
| BALANCEADORA | 32 | BL |
| ALESADORA | 08 | AL |
| ALESADORA | 47 | AL |
| TORNO VERTICAL | 46 | TV |
| TORNO VERTICAL | 13 | TV |
| TORNO HORIZONTAL | 26 | TH |
| TORNO HORIZONTAL | 66 | TH |
| TORNO HORIZONTAL | 39 | TH |
| TORNO HORIZONTAL | 12 | TH |
| TORNO HORIZONTAL | 11 | TH |
| TORNO HORIZONTAL | 45 | TH |
| TORNO HORIZONTAL | 17 | TH |
| TORNO PORTATIL | 01 | TP |
| FRESADORA UNIVERSAL | 36 | FR |
| TALADRO RADIAL | 31 | TR |
| TALADRO RADIAL | 30 | TR |
| LIMADORA | 10 | LM |
| ROSCADORA | 34 | RS |
| MORTAJADOR | 33 | MT |
| RECTIFICADORA PLANA | 16 | RP |
| RECTIFICADORA CILINDRICA | 01 | RC |
| SIERRA | 01 | SR |
| SIERRA | 21 | SR |

La idea de restablecer y actualizar la codificación, es hacer que de ahora en adelante se tenga referencia total en los equipos del taller de máquinas, basándose en estos códigos al momento de llevar el control de los diferentes sistemas de información del mantenimiento como lo pueden ser: Pedido de mantenimiento, ordenes de trabajo, hojas de vida y más importante aún, programa de mantenimiento.

Tabla 11. Codificación de los Equipos del Taller de Máquinas.

| MAQUINA | CODIGO ELLIPSE |
|-----------------------------|-----------------------|
| BALANCEADORA | TMH-BL-31 |
| BALANCEADORA | TMH-BL-32 |
| ALESADORA | TMH-AL-08 |
| ALESADORA | TMH-AL-47 |
| TORNO VERTICAL | TMH-TV-46 |
| TORNO VERTICAL | TMH-TV-13 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-26 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-66 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-39 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-12 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-11 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-45 |
| TORNO HORIZONTAL | TMH-TH-17 |
| TORNO PORTATIL | TMH-TP-01 |
| FRESADORA UNIVERSAL | TMH-FR-36 |
| TALADRO RADIAL | TMH-TR-31 |
| TALADRO RADIAL | TMH-TR-30 |
| LIMADORA | TMH-LM-10 |
| ROSCADORA | TMH-RS-34 |
| MORTAJADOR | TMH-MT-33 |
| RECTIFICADORA PLANA | TMH-RP-16 |
| RECTIFICADORA CILINDRICA | TMH-RC-01 |
| SIERRA | TMH-SR-01 |
| SIERRA | TMH-SR-21 |

9.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS MAQUINAS

En esta etapa se realizó la investigación necesaria, en búsqueda de la información técnica de los equipos a los cuales se les realizó el plan de mantenimiento.

Gran parte de la información se tomó de los manuales de los equipos, de libros y maquinarias que se encuentran en el Servicio Nacional De aprendizaje (SENA). Por último se obtuvo información de acuerdo de los diferentes componentes de los equipos, de los cuales se buscó las características en manuales de ingeniería y guías de posibles proveedores.

El resultado de esto fue la realización de las diferentes fichas técnicas para los 24 equipos del plan, siendo algo muy importante para el taller en especial a causa de la necesidad de tener estos documentos del proceso para la acreditación de la calidad industrial. Recordemos que hasta el momento la concepción de mantenimiento que se tiene en el taller es reparar a la hora de presentarse algún problema o en muy pocos casos se realiza un mantenimiento preventivo, dando esto muestra de la falta de compromiso y organización del Departamento con la realización de primeros pasos como puede ser este tipo de documentos.

Las fichas técnicas dan información de la función del sistema, de los componentes de éste, de las características técnicas, de las instrucciones de uso y hasta las vistas del campo del activo, generando así una idea más profunda y un detallado grupo de datos que es de mucha importancia para los mecánicos del taller y para la realización del programa de mantenimiento.


La figura 26 nos muestra unas de las fichas técnicas que se diseñaron y que fueron de gran aporte para la estrategia RCM.

Como podemos observar la ficha técnica diseñada, tiene una estructura simple, en la que se puede observar la información dada por el supervisor y técnicos del taller; se establece una información detallada de la máquina, una serie de

especificaciones técnicas que nos da la información de utilización y proceso de la máquina, además de los componentes que lo conforman, instrucciones de uso, la función por la cual fue adquirido y un mantenimiento básico a realizar que se tenía planeado en el taller antes de realizar la estrategia RCM.

NOTA: Las fichas técnicas de todos los equipos del Taller de Máquinas se encuentran en el ANEXO E.

Figura 26. Ficha técnica Torno vertical # 46

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------|
|  | FICHA TECNICA DE EQUIPOS DEL TALLER DE MAQUINAS | FECHA: 14/05/13 |
| | | DPTO MTTO |
| | | Version 1.0 |

| | |
|-----------------------------|---------------------------|
| DESCRIPCIÓN FISICA | TORNO VERTICAL |
| MODELO | KNA-110/135A |
| MARCA | DEFUM |
| SERIE | 2817342 |
| UBICACIÓN | Taller de Máquinas |
| CODIGO DE INVENTARIO | 6019124 |
| OPERARIO | Mecánicos Taller |
| AÑO DE COMPRA | 1975 (año de fabricación) |
| NÚMERO INTERNO | MHTV046 |

| | | | | |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Eléctrico: X | Mecánico: X | Neumático: | Hidráulico: | Electrónico: |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|

ESPECIFICACIONES TECNICAS:
 Diámetro de la placa frontal: 1100 mm / 43,3 in
 Máximo apogeo sin silla lateral: 1350 mm / 51,3 in
 Máximo apogeo con silla lateral: 1100 mm / 43,3 in
 Gama de velocidades de la placa de mesa cara:
 3,15 - 200 r.p.m
 Desplazamiento vertical de la cabeza de la hrta:
 600 mm /23,6 in
 Desplazamiento vertical del Crossrail: 800 mm / 31,5 in
 # de agujeros de herramientas en la torreta: 5
 Diametro de agujeros de hrrtas en la torreta:60mm
 # alimentaciones de silla de montar superior y lateral:12
 Gama de alimentaciones: 0,21-10 mm/rev, 008-,393in/rev
 Máx.Peso admisible de la pieza de trabajo:3000Kg/6614lb
 # de revoluciones del motor de accionamiento principal a
 una frecuencia de 60 c/s: 1758/882 r.p.m
 # de revoluciones de accionamiento de traslación
 rápida del Crossrail a una frecuencia de 60 c/s:1692 r.p.m
 4 motores para viajes rápidos de sillas de montar de
 potencia de cada motor: 0,55 Kw; 0,8 HP
 Poder de lubricación del motor de accionamiento
 de bomba: 1,1 kw
 P.neto de la máq herramienta aprox.:11000 Kg; 24251 lb
 Dimensiones/longitud*ancho*alto: 2250*2500*3000mm
 88,5*98,4*118,1 in
 Tensión de Alimentación: 440 V, Tensión de Control:220 v
 Potencia instalada total:28,1kW, Frecuencia: 60 c/s



COMPONENTES:

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| A. Copa | H. Panel Control General |
| B. Motor Principal | I. Volantes Manuales |
| C. Carro Vertical | J. Portaherramientas |
| D. Volantes | |
| E. Palancas comando de avances | |
| F. Portaherramientas | |
| G. Carro Logintudinal | |

INSTRUCCIONES DE USO:

1. Diligenciar la lista de chequeo (antes de operar el torno) (ver anexo formato de lista de chequeo)
2. Verifique que la máquina se encuentre limpia y lubricada
3. Encienda la máquina accionando la palanca principal
4. Accione el botón de la bomba de seguridad ubicado en el panel de comandos
5. Seleccione velocidades de acuerdo al trabajo requerido y oprima el botón de accionamiento para hacer efectiva para hacer efectiva la velocidad
6. Seleccione el carro que vaya a necesitar (longitudinal-transversal)
7. Monte la pieza que va a maquinar y céntrela.
8. Monte el portaherramientas de acuerdo al trabajo que vaya a realizar.
9. Maquine la pieza de acuerdo al trabajo que vaya a realizar

FUNCIÓN: Mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores. Se aplica para un mecanizado multi-funcionamiento de acero y piezas de hierro fundido con la ayuda de las herramientas de corte con puntas de acero de alta velocidad o los carburos sintetizados.

MANTENIMIENTO:

1. Limpieza de la Máquina, especialmente aquellas partes que dependen de la precisión de trabajo.
2. Lubricación de acuerdo al plan dado en la documentación técnica y de trabajo.
3. Inspecciones: no solo revela la condición de la máquina herramienta, si no que supone un ajuste, reparación o cambio de piezas desgastadas
4. Protección a la co-acción de partes, especialmente las sillas, de la que deben ser eliminadas sedimentos con cepillo o un gancho de acero con el fin de evitar que se acumulen en estas partes.
5. Apriete de las tuercas, pernos, etc.
6. Cambio de aceite en los cutainers y grasa en los vasos de grasa y remover los pequeños defectos.

Fuente: Autores con ayuda del tutor del proyecto

9.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS POR FACTORES PONDERADOS.

El análisis de criticidad permite identificar y jerarquizar por su importancia los elementos de una instalación sobre los que vale la pena dirigir recursos (Humanos, económicos). Para el caso del análisis del plan de mantenimiento se propone seguir la metodología desarrollada por al consultoría inglesa “THE

WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED”,³³ llamado el modelo de criticidad “Factores ponderados basados en el riesgo”. Este modelo esta basado en el concepto de riesgo así:

Tabla 12. Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad

| Parámetros de medición de criticidad | Criterios | Puntaje |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Frecuencia de falla | No más de 1 por año | 1 |
| | Entre 1 y 3 por año | 2 |
| | Entre 3 y 5 por año | 3 |
| | Entre 5 y 10 por año | 4 |
| | Más de 10 por año | 5 |
| Tiempo promedio para reparar | Menos de 8 horas | 1 |
| | Entre 8 y 24 horas | 2 |
| | Entre 24 y 40 horas | 3 |
| | Entre 40 y 80 horas | 4 |
| | Más de 80 horas | 5 |
| Impacto sobre la producción | No afecta la producción | 0,05F |
| | 25% de impacto | 0,3F |
| | 50% de impacto | 0,5F |
| | 75% de impacto | 0,8F |
| | La afecta totalmente | 1F |
| Costos de reparación | Menos de 3 millones | 3 |
| | Entre 3 y 5 millones | 5 |
| | Entre 5 y 10 millones | 10 |
| | Más de 10 millones | 25 |
| Impacto ambiental | No origina ningún impacto ambiental | 0 |
| | Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los | 5 |

³³ HUERTA MENDOZA Rosendo. Club de mantenimiento. Publicación periódica. Pág. 12:”El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional”. Aplicación del análisis de criticidad en petróleos en Venezuela. PDWSA E & P Occidente. Autor.

| | | |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | límites de la planta | |
| | Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta | 10 |
| | Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios | 25 |
| Impacto en la salud y seguridad personal | No origina heridas ni lesiones | 0 |
| | Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes | 5 |
| | Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días | 10 |
| | Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente | 25 |
| Impacto en la satisfacción del cliente | No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta | 0 |
| | Puede ocasionar perdidas económicas hasta de 5 SMMLV | 5 |
| | Puede ocasionar perdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV | 10 |
| | Puede ocasionar perdidas económicas mayores de 25 SMMLV | 25 |

Fuente. Los autores con base en la recolección de datos suministrados por el Taller de máquinas-GRB

9.4.1 Descripción del instrumento.

Respecto al instrumento, una calificación por equipo entre 0 y 20 implica un bajo nivel de criticidad; una calificación mayor a 20 pero menor o igual a 40 implica un nivel medio de criticidad y finalmente una calificación mayor a 40 demuestra que el equipo en mención a razón de sus operarios se encuentra en estado crítico alto. Los criterios o parámetros que se utilizaron para la elaboración de las encuestas,

las tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas fueron los siguientes:

- **Frecuencia de falla:** Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada, en un periodo de un año.
- **Nivel de producción:** Representa la producción aproximada por día de la instalación y sirve para valorar el grado de importancia de la instalación a nivel económico.
- **Tiempo promedio para reparar:** Es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla; se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente. El MTTR, mide la efectividad que se tiene para restituir la unidad o unidades del sistema en estudio a condiciones óptimas de operatividad.
- **Impacto en la producción:** Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (Por día), debido a fallas ocurridas (Diferimientos de la producción). Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos de los sistemas estudiados y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.
- **Costo de reparación:** Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas del funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.
- **Impacto en la seguridad personal:** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos o instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

- **Impacto ambiental:** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.
- **Impactos satisfacción al cliente:** En él se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría las expectativas del cliente; en este caso se considera cliente a las áreas a las cuales se les suministra los servicios industriales.³⁴

9.4.2 Selección del personal a entrevistar

El personal seleccionado para el análisis de la información por medio del enfoque de criticidad fue el siguiente:

- Operario por cada una de las maquinas previamente caracterizadas.
- Funcionario encargado del mantenimiento.

Cada uno de estos funcionarios pondero cada una de las variables abordadas en el cuestionario, luego estos resultados fueron promediados por maquina o equipo, finalmente estos datos fueron ingresados en la siguiente formula:

*Criticidad: Frecuencia De Falla*Consecuencia*

Siendo Consecuencia: a + b

a: Costo reparación +Impacto seguridad personal +Impacto ambiental+ Impacto satisfacción cliente.

b: Impacto en la producción* Tiempo promedio para reparar(MMTTR)

³⁴ HUERTA MENDOZA, Rosendo. OP.CIT., p 26

9.4.3 Verificación de Datos

Los anteriores criterios fueron la base del cuestionario de aplicación (Ver Anexo F) realizado con el personal logístico y operativo del taller de máquinas de la GRB en cada una de las máquinas, modos de uso, costos de producción, a fin de que los sujetos, con base en sus experiencias financieras, de manejo y organización pudieran evaluar el estado del riesgo que sufren sus máquinas a fin de generar priorizaciones en el plan de mantenimiento. El personal escogido para la evaluación por equipo fue conformado por el supervisor de mantenimiento y el operario de la máquina (Ver tabla 13).

Tabla 13. Ponderación de los parámetros del análisis de criticidad por equipo.

| PONDERACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD TALLER DE MÁQUINAS GRB | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|----------|--------------------------------------------------|
| EQUIPO | SUPERVISOR DEL TALLER | OPERARIO DEL TALLER | PROMEDIO | ECUACIÓN DE CRITICIDAD |
| BALANCEADORA 31 | | | | CRITICIDAD (FF) $((CR+ISSP+IA+ISC)+(ISP*MTRR))$ |
| FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA) | 2 | 2 | 2 | FRECUENCIA DE FALLA FF |
| TIPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTRR) | 4 | 5 | 4,5 | TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTRR |
| IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (POR EL NÚMERO DE FALLAS AL AÑO) | 0,5F | 1F | 1,5 | IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN ISP |
| COSTOS DE REPARACIÓN | 1 | 2 | | COSTOS DE REPARACIÓN CR |
| IMPACTO AMBIENTAL | 10 | 5 | 7,5 | IMPACTO AMBIENTAL IA |
| IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL | 0 | 5 | 2,5 | IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL ISSP |
| IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE (ÁREAS DE LA PLANTA A LA CUAL SE LE SUMINISTRAN LOS SERVICIOS INDUSTRIALES) | 0 | 5 | 2,5 | IMPACTO EN LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE ISC |
| | 10 | 5 | 7,5 | |
| | | | | 53,500 |

Fuente: Resultado de la aplicación de los instrumentos

8.5.4 Resultados del estudio

La tabla 14 muestra el resultado de la evaluación de los diversos equipos existentes en el Taller de máquinas de la GRB; los datos particulares de evaluación de cada uno de los equipos corresponden a los (Anexo G).

Tabla 14. Matriz de criticidad del equipo del taller de maquinas

| EQUIPOS | CRITICIDAD | RANGO DE CRITICIDAD |
|-----------------------------|------------|-----------------------|
| BALANCEADORA 31 | 53,500 | 40>ALTA≤60 |
| BALANCEADORA 32 | 49,000 | |
| ALESADORA 47 | 48,000 | |
| TORNO HORIZONTAL 45 | 43,000 | |
| TORNO VERTICAL 46 | 39,000 | 20>MEDIA≤40 |
| TORNO VERTICAL 13 | 38,000 | |
| FRESADORA UNIVERSAL 36 | 37,000 | |
| TORNO HORIZONTAL 11 | 35,000 | |
| TORNO HORIZONTAL 17 | 33,450 | |
| RECTIFICADORA CILINDRICA 01 | 32,500 | |
| TALADRO RADIAL 30 | 32,000 | |
| TALADRO RADIAL 31 | 30,200 | |
| ALESADORA 08 | 28,700 | |
| SIERRA 01 | 28,250 | |
| SIERRA 21 | 25,000 | |
| TORNO HORIZONTAL 12 | 19,613 | 0>BAJA≤20 |
| RECTIFICADORA PLANA 16 | 17,700 | |
| LIMADORA 10 | 13,013 | |
| MORTAJADORA 33 | 12,800 | |
| TORNO HORIZONTAL 66 | 9,938 | |
| TORNO HORIZONTAL 26 | 9,600 | |
| TORNO HORIZONTAL 39 | 9,600 | |
| ROSCADORA 34 | 8,250 | |
| TORNO PORTATIL 01 | 6,188 | |

Fuente. Autores del proyecto con base a los resultados del Instrumento utilizado para hallar la criticidad de los equipos.

Como base final del análisis de criticidad, se establecieron los 15 equipos que hacen parte del estudio de análisis de modos y efectos de falla. Estos equipos son los que se encuentran en alta y media criticidad (Ver tabla 15).

Tabla 15. Resultados del análisis de criticidad

| EQUIPOS | CÓDIGO |
|--------------------------|---------------|
| BALANCEADORA | 31 |
| BALANCEADORA | 32 |
| ALESADORA | 47 |
| TORNO HORIZONTAL | 45 |
| TORNO VERTICAL | 46 |
| TORNO VERTICAL | 13 |
| FRESADORA UNIVERSAL | 36 |
| TORNO HORIZONTAL | 11 |
| TORNO HORIZONTAL | 17 |
| RECTIFICADORA CILINDRICA | 01 |
| TALADRO RADIAL | 30 |
| TALADRO RADIAL | 31 |
| ALESADORA | 08 |
| SIERRA | 01 |
| SIERRA | 21 |

Finalizado este proceso se continúa con el análisis de modos y efectos de falla de estos 15 equipos.

9.5 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)

Se debe tener en cuenta que mantenimiento, significa asegurar que los elementos funcionales de una organización continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga; entonces un programa de mantenimiento general debe tener en cuenta todos los sucesos que son contingentes de amenazar esa funcionalidad. Para el análisis de estos acontecimientos, cada equipo puede ser clasificado según sus subsistemas y/o componentes, al cual se les determinara sus funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla.

9.5.1 Descripción General Del Proceso

- Proceso de análisis

Se tuvieron en cuenta los diversos pasos preestablecidos por el análisis de FMEA, para el análisis de los equipos previamente caracterizados. De esta forma se pretendió inicialmente realizar una subdivisión por sistemas que resulte útil para el proceso de verificación de posibles fallas en componentes del equipo.

Para lograr obtener esta base de datos, se realizaron diferentes reuniones con los técnicos de mantenimiento y con el Ingeniero Jefe, quienes son las personas que están más involucradas directamente con el proceso del taller desde hace ya algún tiempo; además los libros-manuales para el manejo del equipo fueron esenciales para la ejecución de este objetivo.

- Descripción del elemento (Hoja de información RCM)


La hoja de información RCM diseñada para los equipos del taller de máquina con referencias a otras estructuras estandarizadas tienen una estructura simple, en las que se puede observar en la parte superior información tal como el sistema a trabajar, el área de trabajo, marca y modelo del equipo, facilitador y auditor de la información registrada. En la fila siguiente de la tabla se presenta información tal como lo son los subsistemas y componentes del equipo, además las funciones de los activos como principal parámetro de la adquisición del equipo. También las fallas funcionales que hacen que dichas funciones no se cumplan como se espera, los modos de fallas como causas posibles de las fallas funcionales, los efectos de falla como evento que manifiesta que la falla ocurre, y por último el índice de prioridad de riesgos IPR el cual nos permite jerarquizar el nivel de riesgos de cada falla funcional.

- **Resultados del proceso FMEA**

Se debe tener en cuenta, que inicialmente las maquinas fueron caracterizadas, luego se dividieron los diversos subsistemas y a continuación se muestran los resultados del FMEA (Ver Tabla 16), con base en la información colectada por los operarios dado que a pesar de la existencia de un software, este no resulta ser suficiente para garantizar de manera dinámica la actualización de la información por equipo y menos predecir su estado por medio de la cuantificación de las horas de trabajo. De allí la importancia de preestablecer un mecanismo.

NOTA: Las hojas de Información de todos los equipos del Taller de Máquinas se encuentran en el Anexo H.

Tabla 16. Hoja de Información Balanceadora

|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB | | | | | | | | REV.:0 | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------|
| | | HOJA DE INFORMACIÓN RCM | | | | | | | | Facilitador | | Hoja N°: |
| | | AREA DE TRABAJO: Taller de Máquinas | | | | | | | | Karen Mendoza, Yarlynn Salas | | |
| SISTEMA: | | MARCA: | | MODELO: | | CÓDIGO: | | Auditor | | Fecha: | | |
| BALANCEADORA | | SCHENK | | H2N | | TMH-BL-32 | | Rossvan Plata Villamizar | | | | |
| SUBSISTEMA | F | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFFECTOS DE FALLA | Probabilidad de Ocurrencia "P" | Gravedad de falla "G" | Probabilidad de no Detención "D" | Indice de Prioridad de Riesgo "IPR" | |
| Unidad mecánica | 1 | Balancear los rotores y compensar los equipos | A | Rompimiento de un diente, de un engranaje o del cardan de los apoyos. | 1 | Montaje incorrecta de la pieza | Imposibilidad de balancear | 2 | 10 | 3 | 60 | |
| | | | | 2 | Potencia demasiado fuerte | | | | | | | |
| | | | B | Soporte de la pieza defectuosos (Rodamientos) | 1 | Excesos del llímite establecido de vida util | Balancesos imperfectos, lecturas erroneas | 2 | 8 | 1 | 16 | |
| Control electrónico | 1 | Permite reflejar los datos que se trasmiten en la operación | A | El sensor de lectura no registra los datos de balanceo | 1 | Daño en el sistema Pickup | No realiza el contador de revoluciones | 2 | 10 | 2 | 40 | |
| | | | B | El cableado no transmite los datos de las vibraciones hacia el monitor | 1 | | No se sabe si el equipo está balanceado o desbalanceado | 2 | 8 | 3 | 48 | |
| | | | C | Desconfiguración del software del monitor | 1 | Manejo incorrecto del sistema operativo. | No se puede observar los datos transmitidos por el sistema | 4 | 10 | 2 | 80 | |
| | | | D | Maquina despatroneada | 1 | Reinicio del equipo, o cuando se desenergiza el monitor. | No se puede observar los datos transmitidos por el sistema | 3 | 10 | 2 | 60 | |
| Control eléctrico | 1 | Proveer la energía necesaria para el arranque y correcto funcionamiento de los accesorios eléctricos e instrumentos de control | A | El motor no gira | 1 | Motor sobrecargado | Imposibilidad de balancear | 5 | 10 | 3 | 150 | |
| | | | | | 2 | Cableados defectuosos | | | | | | |
| | | | B | El motor esta sobrecalentado | 1 | Motor sobrecargado | Imposibilidad de balancear | 4 | 7 | 2 | 56 | |
| | | | | | 2 | Obstrucción en el sistema de enfriamiento del motor | | | | | | |
| C | La máquina no prende | 1 | Aislamiento del fluido eléctrico | Imposibilidad de mecanizar | 4 | 10 | 2 | 80 | | | | |

Fuente. Resultado de la información colectada de los equipos en el Taller de Maquinas GRB

9.6 SÍNTESIS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN MEDIANTE IPR

Existen tres índices de evaluación para cada Modo de Fallo:

- Índice de Gravedad (G)

Evalúa la gravedad del Efecto o consecuencia de que se produzca un determinado Fallo para el cliente.

La evaluación se realiza en una escala del 1 al 10 en base a una Tabla de Gravedad (Tabla 17) y que es función de la mayor o menor insatisfacción del cliente por la degradación de la función o las prestaciones.

Tabla 17. Criterios de Evaluación Índice de Gravedad

| Criterio | Probabilidad |
|-------------------------------------|--------------|
| Muy Leve(casi imperceptible) | 1-2 |
| Leve | 3-4 |
| Gravedad moderada | 5-6 |
| Gravedad Alta | 7-8 |
| Muy grave | 9-10 |

Fuente. Tomado de la fuente electrónica³⁵

- Índice de Ocurrencia (O)

Evalúa la probabilidad de que se produzca el Modo de Fallo por cada una de las Causas Potenciales en una escala del 1 al 10 en base a una Tabla de Ocurrencia (Tabla 18). Para su evaluación, se tendrán en cuenta todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la Causa Potencial del Fallo.

³⁵ DOMENECH ROLDÁN, José Manuel. [Disponible en:] <http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/AMFE.pdf>, Vista el 18/11/13.

Tabla 18. Criterios de Evaluación Índice de Ocurrencia

| Criterio | Probabilidad |
|--------------------------|--------------|
| Casi improbable | 1-2 |
| Baja probabilidad | 3-4 |
| Probable | 5-6 |
| Alta probabilidad | 7-8 |
| Casi con certeza | 9-10 |

Fuente. Tomado de la fuente electrónica³⁶

- Índice de detención (D)

Evalúa, para cada causa, la probabilidad de detectar dicha Causa y el Modo de Fallo resultante antes de llegar al cliente en una escala del 1 al 10 en base a una tabla de detención (Tabla 19).

Para determinar el índice D se supondrá que la Causa de Fallo ha ocurrido y se evaluará la capacidad de los controles actuales para detectar la misma o el Modo de Fallo resultante.

Tabla 19. Criterios de Evaluación Índice de Ocurrencia

| Criterio | Probabilidad |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| Casi imposible que los controles no detecten el fallo | 1-2 |
| Baja probabilidad de no detección | 3-4 |
| Probabilidad media | 5-6 |
| Alta probabilidad de no detección | 7-8 |
| Probabilidad muy alta de no detectar el fallo | 9-10 |

Fuente. Tomado de la fuente electrónica³⁵

³⁶ DOMENECH ROLDÁN, José Manuel. [Disponible en:] <http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/AMFE.pdf>, Vista el 18/11/13.

Los tres índices anteriormente mencionados son independientes y para garantizar la homogeneidad de su evaluación, éstas serán realizadas por el mismo grupo de análisis.

La síntesis del proceso de evaluación mediante IPR para los equipos del Taller de Máquinas se realiza con los valores mayores e igual a 100 en su puntaje, Ver Anexo I.

9.7 HOJA DE DECISIÓN DE LOS EQUIPOS DEL TALLER DE MÁQUINAS

El siguiente paso en el estudio de RCM es analizar las consecuencias de cada modo de falla, y dependiendo de la severidad, justificar si merece hacerle una tarea de mantenimiento. Para este proyecto se van a estimar las siguientes consecuencias a modo de propuestas:

- Fallas ocultas o evidentes.
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

Después de la evaluación de las consecuencias en el diagrama de decisión RCM, continua con la decisión de qué tipo de tarea se va realizar para mitigar dichas consecuencias y así disminuir su impacto. En este punto se debe tener en cuenta cual es la mejor opción para la organización.

Las Hojas del Diagrama de Decisión de los otros equipos analizados se encuentran en el Anexo J.

Tabla 20. Hoja de Decisión RCM Balanceadora

| DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA GRB | | | | | | | | | | | | | REV:0 | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----|--------------------------------------|---|---|---|----|----|---------------------------------------------------|-----------------|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------|
| HOJA DE DECISIÓN RCM | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | SISTEMA Balanceadora 31 | | | | | | Facilitador Karen Mendoza, Yarlyn Salas | | | | Hoja N°: | | |
| | | | SUBSISTEMA Unidad mecánica | | | | | | Auditor Rossvan Plata Villamizar | | | | de | | |
| Referencia de información | | | Evaluación de consecuencias | | | | H1 | H2 | H3 | ACCIÓN FALLA DE | | | TAREAS PROPUESTAS | INTERVALO INICIAL | A REALIZARSE POR |
| | | | | | | | S1 | S2 | S3 | | | | | | |
| F | FF | FM | H | S | E | O | N1 | N2 | N3 | | | | | | |
| 1 | A | 1 | S | S | | | S1 | | | | | | Verificar que la pieza de trabajo se encuentre montada adecuadamente | Al inicio de cada trabajo | Operador |
| | A | 2 | S | S | S | | | S2 | | | | | Reducir la potencia suministrada al equipo | C/6 Meses | Operador |
| 1 | B | 1 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Ajustar los soportes de la pieza. Verificar el desgaste de los centros o puntas de las máquinas y corregir el ángulo. | C/ 12 Horas | Mécanico |

| SUBSISTEMA: Control Electrónico | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|--|--|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Configurar o cambiar el sensor de Lectura | C/ Año | Ingeniero Electrónico |
| 1 | B | 1 | S | N | N | S | | | O3 | | | | Reemplazar el cableado de transmisión | Definido por el Ingeniero a cargo | Ingeniero Electrónico y/o Eléctrico |
| 1 | C | 1 | S | N | N | S | | O2 | | | | | Configurar el sistema | C/ 5 Meses | Ingeniero Electrónico |
| 1 | D | 1 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Patronear la máquina | Semanalmente | Ingeniero Electrónico |
| SUBSISTEMA: Control Eléctrico | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Disminuir el voltaje de la máquina | Al inicio de cada trabajo | Ingeniero Electrónico |
| | A | 2 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Revisar el cableado | Al inicio de cada trabajo | Ingeniero Electrónico |
| 1 | B | 1 | S | N | N | | N1 | | | | | | Aumentar el valor de tiempo de aceleración | Inmediatamente | Operador |
| | B | 2 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Inspección o cambio del motor | C/ 6 Meses | Operador |
| 1 | C | 1 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Disminuir el voltaje de la máquina | Al inicio de cada trabajo | Ingeniero Electrónico |
| | C | 2 | S | N | N | | | N2 | | | | | Eliminar los obstáculos que obstruyen el sistema | C/ 6 Meses | Mécanico |
| 1 | D | 1 | S | N | N | S | O1 | | | | | | Verificar el suministro de energía | Inmediatamente | Operador |
| 1 | E | 1 | S | N | N | | | | N3 | | | | Detectar y cambiar el cableado en mal estado | C/ 3 Años | Mécanico y/o Eléctrico |

Fuente. Resultado de la Hoja de información colectada en el Taller de Maquinas GRB.

9.8 ANÁLISIS DE COSTOS Y EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO

Una de las maneras para poder medir la eficiencia del mantenimiento, es la evaluación de los costos del mismo. Esto dice que tan bien el mantenimiento está utilizando los recursos a su disposición. En general se puede decir que los costos directos del mantenimiento se basan básicamente en tres aspectos:

- Mano de obra interna, conformada por el personal técnico de mantenimiento
- Materiales empleados en la ejecución del mantenimiento
- Contratistas encargados de realizar labores externas especializadas

9.8.1 Análisis de Costos del Programa Actual de Mantenimiento (2014) para los equipos críticos del Taller de Máquinas de La GRB.

Siguiendo lo anteriormente expuesto se realizó un análisis de costos de mantenimiento en el Taller de máquinas de la GRB para el presente año, ya que en el año 2013 no se realizó un plan de mantenimiento preventivo, ni se pactaron costos para las tareas de mantenimiento de los equipos del taller; estos quedaron desiertos, ocasionando grandes pérdidas de producción debido a los fallos, paradas y fuera de servicio de las máquinas, además de altos costos de mantenimiento correctivo para el Departamento de Mantenimiento.

Para el cálculo de los costos del mantenimiento se tienen en cuenta los tres aspectos: Los materiales se ven representados en las Órdenes de compras de materiales consumibles (Por tanto el valor utilizado en este caso es un valor estimado). Por otro lado la mano de obra es realizada por el personal de mantenimiento de la empresa y por último se encuentran el costo de contratos y ordenes de prestación de servicios (OPS). Estos costos se pueden observar en la tabla 21 y en la figura 27. Esto deja ver claramente la importancia que tiene los

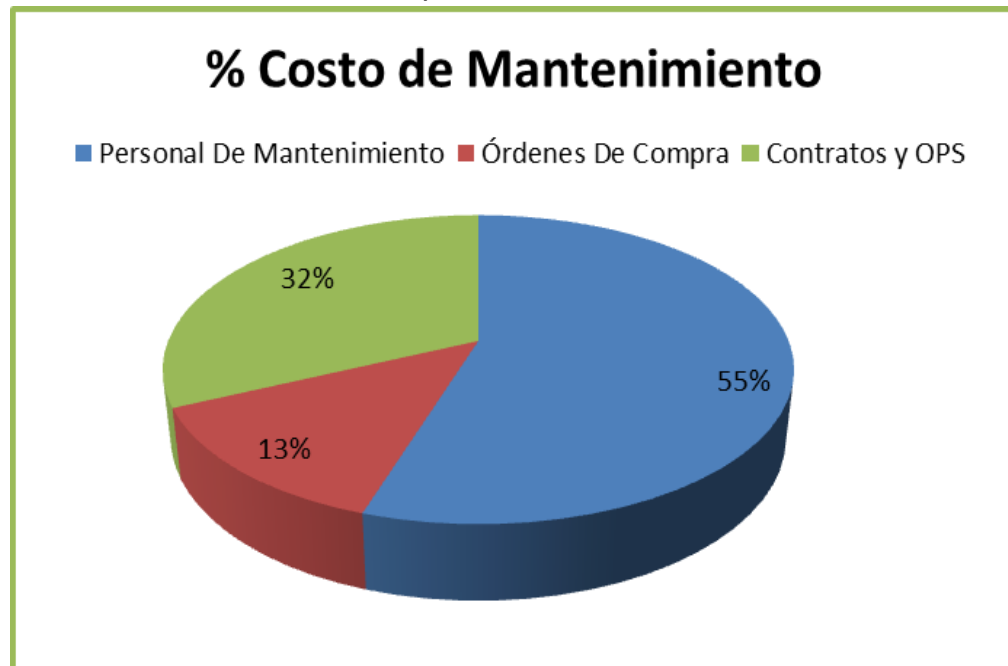
contratistas en el programa de mantenimiento de la empresa, seguido de la mano de obra Interna.

Tabla 21. Costos Generales de Mantenimiento de Equipos Críticos del Taller de Máquinas de la GRB.

| COSTOS GENERALES DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS | |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Personal De Mantenimiento | \$ 151.180.800 |
| Órdenes De Compra | \$ 36.300.000 |
| Contratos y OPS | \$ 87.520.000 |
| Costo Total de Mantenimiento | \$ 275.000.800 |

Fuente. Los autores con base en la recolección de datos suministrados por el Taller de máquinas-GRB

Figura 27. Costos Generales de Mantenimiento de Equipos Críticos del Taller de Máquinas de la GRB



9.8.2 Cálculo del Índice de Efectividad (MEI) por Equipo Crítico.

Una forma muy interesante de poder saber que equipos generan más pérdidas si no se les realiza tareas de mantenimiento, es hacer un análisis de la efectividad del mantenimiento planeado. Este método logra hacer decidir qué tipo de máquina puedo planear para realizar Tareas de Mantenimiento Preventivo y Proactivo y cuales en definitiva no van en el Plan de Mantenimiento.

Para poder hacer este análisis se requiere saber el costo de la máquina y el costo de hacer mantenimiento.

El valor MEI se calcula con la siguiente formula:

$$MEI = \frac{\text{Pérdida de la producción sin mantenimiento} - \text{Pérdida de producción con mantenimiento}}{\text{Costo de realizar el mantenimiento}}$$

- Pérdida de la producción sin mantenimiento: Es el costo de la máquina. (Ver Tabla 24.)

- Cálculo del valor MEI para el Torno Vertical 45

El torno vertical 45 presenta varios modos de falla que pueden afectar directamente a la operación, es por esto que se asignan tareas de mantenimiento para cada uno de ellos con el fin de mitigarlos. Con estas tareas se busca concebir un Plan de mantenimiento proactivo.

Para las tareas de tipo proactivo, se tiene disponible ocho horas de mano de obra interna por cada semestre del año para realizarlas, lo que no involucra efectos en la producción a la hora de hacer mantenimiento, además un costo de materiales consumibles de \$ 2.420.000 y un costo de recurso contratado pactado para el mantenimiento de \$4560000.

Entonces, para realizar las tareas de mantenimiento en el equipo se tiene un costo de:

$$\text{Costo de Mantenimiento} = \$\text{Mano de Obra Interna} + \$\text{Materiales} + \$\text{Contratos}$$

$$\begin{aligned} \text{a.) Mano de Obra Interna} &= \text{HH} * \$\text{HH} * \text{SEMESTRE} * \#\text{TRABAJADORES} \\ &= 8\text{HH} * \$ 99.200 * 2 * 2 = \$ 3.174.400 \end{aligned}$$

$$\text{\$ TOTAL DE MANO DE OBRA/ AÑO} = \$ 3.174.400$$

b.) Materiales Consumibles

Tabla 22. Materiales Consumibles por Equipo.

| MATERIALES/EQUIPO EN EL AÑO | |
|----------------------------------|---------------------|
| Materiales Indirectos | \$ 1.000.000 |
| Lavado de Partes | \$ 300.000 |
| Aceite de Lubricación-Hidráulico | \$ 870.000 |
| Bombillos-Pulsadores | \$ 50.000 |
| TOTAL | \$ 2.220.000 |

Fuente. Los autores con base en la recolección de datos suministrados por el Taller de máquinas-GRB

Tabla 23. Materiales Consumibles por todos los Equipos.

| MATERIALES PARA TODOS LOS EQUIPO | | | |
|----------------------------------|-----------|---------------------|----------------------|
| Producto | Cantidad | Precio | Valor por Equipo |
| Aceite Refrigerante-Taladrina | 4 Canecas | \$ 1.600.000 | \$ 106.666,67 |
| Kit de Oring | 1 Kit | \$ 1.400.000 | \$ 93.333,33 |
| TOTAL | | \$ 3.000.000 | \$ 200.000,00 |

Fuente. Los autores con base en la recolección de datos suministrados por el Taller de máquinas-GRB

$$\text{\$ TOTAL DE MATERIALES/ AÑO} = \$ 2.420.000,00$$

Los Materiales consumibles son aquellos que se utilizan de forma continua, y están relacionados con la mayoría de los equipos. (Aceites y lubricantes, Filtros de aire, diverso material de ferretería, diverso material eléctrico, entre otros.)

C.) Costo de Contratos

\$ TOTAL CONTRATO/AÑO= \$4560000

El costo de contrato fue el valor acordado entre la empresa ECOPETROL S.A y la empresa contratista para el año 2014.

Costo de Mantenimiento= \$ 3.174.400+\$ 2.420.000+\$4560000

\$ TOTAL COSTO DE MANTENIMIENTO TH 45= \$ 10.154.400

$$MEI = \frac{\$95.000.000 - 0}{\$ 10.154.400}$$

$$MEI = 9,3556$$

Si MEI >1, las tareas de mantenimiento de la máquina generan grandes beneficios por lo tanto deben realizarse.

El valor MEI justifica realizar las tareas de mantenimiento al equipo; ya que genera un beneficio económico para la empresa.

Los Costos de Mantenimiento y valores MEI de los equipos críticos incluidos en el Plan de Mantenimiento se encuentran en el Anexo K.

9.8.3 Medición Costo- Beneficio para la implementación de RCM- Análisis Cuantitativo.

El costo de la reparación de fallos disminuye a medida que se previenen. El efecto neto es una reducción tanto de la reparación y los costos totales de mantenimiento.

La relación costo beneficio está dada por la siguiente relación, si esta relación es mayor que 1, es conveniente y provechoso implementar un Plan de Mantenimiento centrado en Confiabilidad.

$$B/C = \frac{[(\text{Costo de Mtto Correctivo} + \text{Costo Equipo})_{\text{Equipo1}} + \dots + (\text{Costo de Mtto Correctivo} + \text{Valor Equipo})_{\text{EquipoN}} + \text{Costo Operacional}]}{\text{Costo de Mtto Preventivo}}$$

Tabla 24. Costos de Mantenimiento Correctivo- Valor del Equipo

| EQUIPO | \$MTTO CORRECTIVO | \$EQUIPO |
|------------------------|----------------------|-------------------------|
| BALANCEADORA 31 | \$ 5.760.000 | \$ 230.000.000 |
| BALANCEADORA 32 | \$ 7.160.000 | \$ 146.000.000 |
| ALESADORA 08 | \$ 9.200.000 | \$ 180.000.000 |
| ALESADORA 47 | \$ 7.000.000 | \$ 180.000.000 |
| TORNO VERTICAL 46 | \$ 6.840.000 | \$ 100.000.000 |
| TORNO VERTICAL 13 | \$ 4.300.000 | \$ 100.000.000 |
| TORNO HORIZONTAL 45 | \$ 7.760.000 | \$ 95.000.000 |
| TORNO HORIZONTAL 17 | \$ 6.560.000 | \$ 75.000.000 |
| TORNO HORIZONTAL 11 | \$ 6.720.000 | \$ 75.000.000 |
| FRESADORA UNIVERSAL 36 | \$ 6.800.000 | \$ 100.000.000 |
| TALADRO RADIAL 39 | \$ 6.800.000 | \$ 25.000.000 |
| TALADRO RADIAL 30 | \$ 6.800.000 | \$ 25.000.000 |
| RECTIFICADORA 01 | \$ 6.160.000 | \$ 240.000.000 |
| SIERRA 01 | \$ 6.000.000 | \$ 45.000.000 |
| SIERRA 21 | \$ 5.600.000 | \$ 40.000.000 |
| TOTAL | \$ 99.460.000 | \$ 1.656.000.000 |

Fuente. Los autores con base a la información suministrada por el Taller de máquinas-GRB.

El costo operacional para este caso son las pérdidas que generaría la parada de una planta en un promedio de 4hrs/día al año, a causa de la no recuperación o fabricación de la parte de un equipo a cargo del Taller de Máquinas debido al No funcionamiento de sus Equipos.

Entonces:

El costo de Pérdida promedio de la producción diaria de una planta es de \$600.000.000, por tanto la pérdida por hora es de \$ 25.000.000.

Si al año una planta deja de funcionar por 4hrs al día por la situación expuesta anteriormente el costo operacional seria de:

$$\text{\$Costo Operacional/año} = (\text{\$ 25.000.000/hr} * 4\text{hrs/día})$$

$$= \text{\$ 100.000.000}$$

$$B/C = \frac{\text{\$ 99.460.000} + \text{\$ 1.656.000.000} + \text{\$ 100.000.000}}{\text{\$ 275.000.800}}$$

$$B/C = \frac{\text{\$ 1.855.460.000}}{\text{\$ 275.000.800}}$$

$$B/C = 6.75$$

La relación costo beneficio dio como resultado $B/C = 6.75$. Esto demuestra que es altamente beneficioso implementar un mantenimiento centrado en confiabilidad en el Taller de Máquinas, ya que reducirá los costos de mantenimiento y aumentara la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

En general, para Ecopetrol S.A sale más económico y rentable realizar el mantenimiento de sus equipos y máquinas herramientas a través del Recurso Contratado, ya que el valor de la Hora Hombre es bastante elevado debido a las prestaciones sociales, bonificaciones, plan educacional y salud, como se evidencia en la Tabla 25.

Tabla 25. Cuadro comparativo del Contrato de Mantenimiento entre Recurso propio y Recurso contratado para el Torno Horizontal 45.

| CONTRATO DE MANTENIMIENTO | | | |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| RECURSO PROPIO (Mano de Obra Interna) | | RECURSO CONTRATADO | |
| Horas Disponibles para el Mtto | 48 | Horas Disponibles para el Mtto | 48 |
| RECURSO HOMBRE | 2 | Costo contrato | \\$ 4.560.000 |
| \\$HH | \\$ 99.200 | | |
| TOTAL | \\$ 9.523.200 | TOTAL | \\$ 4.560.000 |

Fuente. Los autores con base en la recolección de datos suministrados por la Coordinación Proactivo por Áreas-GRB.

9.9 PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL EQUIPOS

En este paso se definió el plan de mantenimiento preventivo apropiado para cada uno de los equipos caracterizados previamente como críticos. Esto se realizó en base a la información suministrada por los manuales, las hojas de información y decisión de cada uno de los equipos, con la asesoría y la experiencia del ingeniero y los técnicos de mantenimiento del Taller de máquinas de la GRB.


Las tareas de mantenimiento seleccionadas para el plan de mantenimiento preventivo están centradas en actividades de inspección, ajustes, lubricación y limpieza de los mismos.

A continuación se presentan las tareas de mantenimiento seleccionadas para el Taladro Radial 30 del taller de Máquinas, con la frecuencia de ejecución correspondiente a cada una de ellas.

Con las actividades programadas en cada uno de los planes de mantenimiento, se confía en el óptimo funcionamiento y la prolongación de la vida útil de trabajo de los equipos y las herramientas del taller, lo cual es el objetivo principal del programa de mantenimiento.

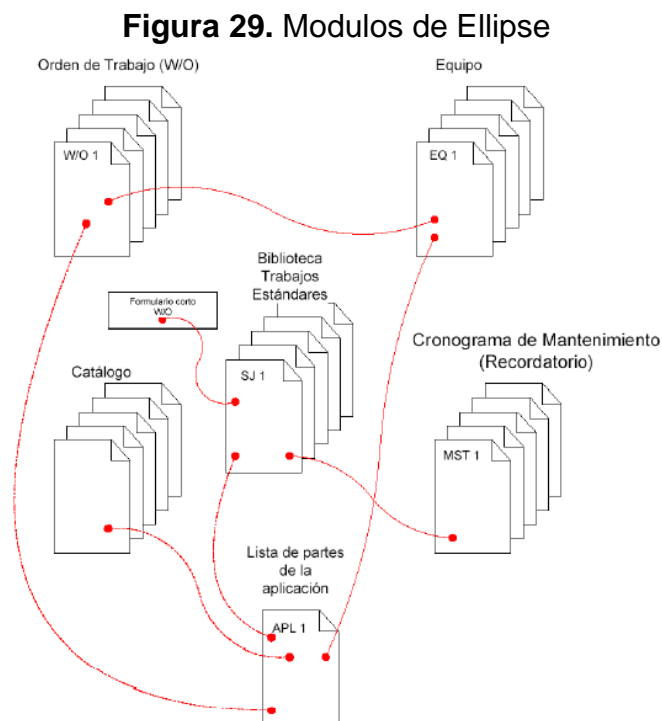
Los planes de mantenimiento preventivos de todos los equipos caracterizados como críticos se encuentran en el Anexo L.

Figura 28. Plan de Mantenimiento Taladro Radial

|  | CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | PERIODO DE INSPECCION | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|----------|-----------------------|---------|--------------------|-----|-----|----------------------------|----|----|--|--|--|
| | | | | | FECHA | | DIA | MES | AÑO | | | | | | |
| | EQUIPO: | TALADRO RADIAL | | | DIARIO | SEMANAL | MESES DE OPERACIÓN | | | | | | | | |
| | MARCA: | CARLTON | MODELO: | 38640-FR | | | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | 36 | | | |
| CODIGO: | TMH-TR-30 | | | | | | | | | | | | | | |
| COMPONENTE | OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | |
| GENERAL | MANTENER EN ORDEN Y LIMPIEZA LA MÁQUINA Y SU PERIFERIA, ESPECIALMENTE EL SUELO | | | | X | | | | | | | | | | |
| UNIDAD MECÁNICA | INSPECCIONAR LOS PERNOS, CABEZAL Y PASADORES | | | | | | X | | | | | | | | |
| | REVISAR Y CAMBIAR LOS ENGRANAJES DE AVANCE QUE ESTEN DETERIORADOS. | | | | | | | X | | | | | | | |
| | APRETAR LOS PERNOS, PASADORES Y TUERCAS QUE ESTEN FLOJOS | | | | | | X | | | | | | | | |
| | REVISAR LAS MANGUERAS DE DRENAJE Y CAMBIAR LAS AVERIADAS. | | | | | | | | X | | | | | | |
| | INSPECCIÓN Y LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS DEL MOTOR | | | | | X | | | | | | | | | |
| UNIDAD ELÉCTRICA | VERIFICAR ESTADO DE CONTACTORES, INTERRUPTORES, RELES, FUSIBLES Y CABLEADO ELÉCTRICO | | | | | | | X | | | | | | | |
| | VERIFICAR CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES DE PARADA DEL MOTOR PRINCIPAL | | | | | | | X | | | | | | | |
| | VERIFICAR QUE EL MOTOR PRINCIPAL NO PRESENTE RUIDOS, VIBRACIONES, Y RECALENTAMIENTO ANORMAL | | | | | | | X | | | | | | | |
| | VERIFICAR ESTADO DEL VENTILADOR DEL MOTOR PRINCIPAL Y REVISAR Y ELIMINAR LOS OBSTACULOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO. | | | | | | | X | | | | | | | |
| | MEDIR Y REGISTRAR EL VALOR DE LA CORRIENTE DE CONSUMO DEL MOTOR PRINCIPAL | | | | | | | X | | | | | | | |
| | VERIFICAR ESTADO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO | | | | | | | X | | | | | | | |
| UNIDAD HIDRÁULICA | COMPROBACIÓN DE LA PRESIÓN ADECUADA | | | | X | | | | | | | | | | |
| | COMPROBACIÓN DE LOS NIVELES DE ACEITE, Y SI ES NECESARIO, | | | | X | | | | | | | | | | |
| | LIMPIEZA DEL MICROSEPARADOR | | | | | | | | X | | | | | | |
| | LIMPIEZA DE LOS FILTROS | | | | | | | | X | | | | | | |
| | SUSTITUCIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO | | | | | | | | X | | | | | | |
| | CONTROL DE FUGAS DE ACEITE Y POR TUBERÍA DAÑADA | | | | | | | | X | | | | | | |
| UNIDAD DE LUBRICACIÓN | COMPROBACIÓN DE LOS NIVELES DE ACEITE, SI ES NECESARIO, RECARGARLOS | | | | X | | | | | | | | | | |
| | LIMPIEZA DE LOS FILTROS DE SUCCIÓN | | | | | | | | | X | | | | | |
| | LIMPIEZA DE LOS FILTROS DE ENGRASE | | | | | | | | | X | | | | | |
| | REVISAR LA VISCOSIDAD DEL ACEITE, SI ES NECESARIO CAMBIE EL ACEITE POR EL ACEITE DE VISCOSIDAD ADECUADA. | | | | | | | X | | | | | | | |
| | COMPROBACIÓN DE FUGAS DE ACEITE O POR TUBERÍAS DAÑADAS | | | | | | | | | | X | | | | |
| UNIDAD DE REFRIGERANTE | CONTROL DE NIVEL DEL REFRIGERANTE | | | | X | | | | | | | | | | |
| | LIMPIAR/CAMBIAR EL FILTRO DEL REFRIGERANTE | | | | | | X | | | | | | | | |
| | VACIAR EL REFRIGERANTE | | | | | | | | X | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | | | |
| OPERARIO | | | | | SUPERVISOR | | | | | INGENIERO DE MANTENIMIENTO | | | | | |

9.10 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ELLIPSE.

El subsistema de Operaciones y Mantenimiento en Ellipse puede ser empleado para apoyar todos los procesos de Operaciones y Mantenimiento. Ellipse es principalmente un sistema basado en tablas y como tal, existe mucha información que necesita ser recopilada de manera que pueda ser ingresada para cumplir con las prácticas y procedimientos de la empresa. La figura 29 nos muestra como es la relación entre los módulos de Ellipse.



Fuente. Manual de Consulta rápida y registro de datos MINCOM ELLIPSE

El sistema Ellipse está relacionado en su mayor parte con la operación, mantenimiento y costos de equipos. Por lo tanto, una correcta identificación del equipo es vital para la operación de la organización y la creación de un registro de equipos es un paso clave para la implementación de Ellipse.

- Descripción del Proceso “Parametrar equipos”

Este proceso consiste en la identificación y codificación adecuada de los equipos a los que se dará mantenimiento, recolectar la información técnica asociada al mismo, y asignar a este equipo en el sistema las instrucciones de mantenimiento que le correspondan.

El proceso inicia con la creación de un código de equipo, que está relacionado directa y unívocamente con el activo fijo. Este código de equipo deberá crearse siguiendo un estándar preestablecido para la codificación de equipos y componentes. Luego, deberá crear o registrar la ubicación e información técnica para este equipo, y deberá registrar los demás datos y asignar los códigos de categoría adecuados. Por último se registran las MST (Tareas de Mantenimiento) para cada equipo con su respectiva WO (Orden de trabajo).

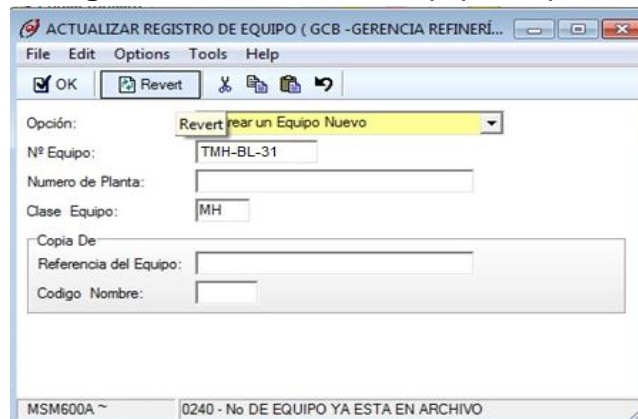
Pasos para Crear y codificar un Equipo.

En este caso evidenciamos el de la Máquina Balanceadora 31.

1. Creación de Equipo con su respectivo código.

En este se crea el equipo con el código establecido en la tabla 11 y se le asigna la clase de equipo a la cual pertenece.

Figura 30. Creación de Equipo Ellipse.



The screenshot shows a software window titled "ACTUALIZAR REGISTRO DE EQUIPO (GCB -GERENCIA REFINERÍ...". The window has a menu bar with "File", "Edit", "Options", "Tools", and "Help". Below the menu bar are buttons for "OK", "Revert", and several icons. The main area contains the following fields:

- Opción: A dropdown menu with "Revertir un Equipo Nuevo" selected.
- Nº Equipo: A text box containing "TMH-BL-31".
- Numero de Planta: An empty text box.
- Clase Equipo: A text box containing "MH".
- Copia De: A section with two sub-fields: "Referencia del Equipo:" and "Codigo Nombre:", both empty.

The status bar at the bottom of the window displays "MSM600A ~ 0240 - No DE EQUIPO YA ESTA EN ARCHIVO".

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

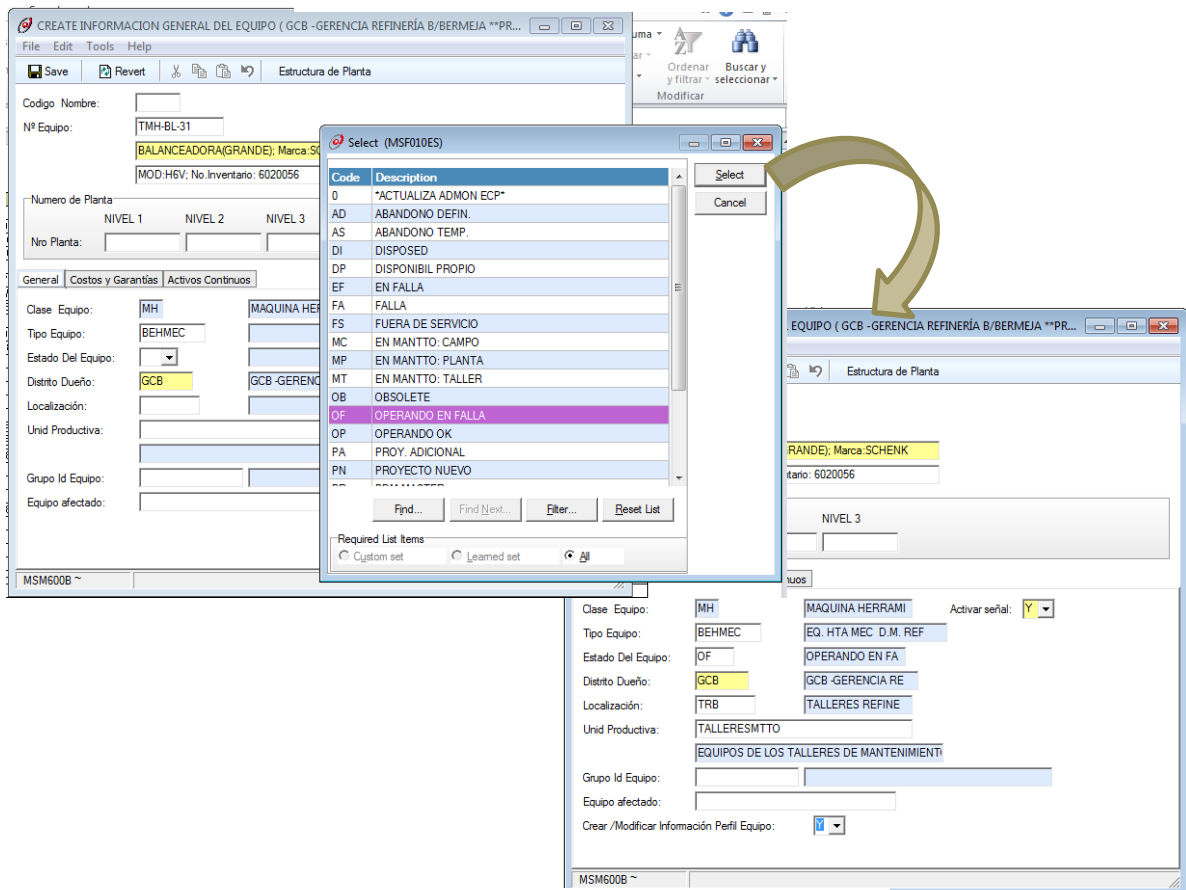
2. Registro de la Ubicación técnica y demás datos.

En esta ventana se debe registrar información General pero de vital importancia como lo es el estado del equipo, localización y unidad productiva. Además de los costos y garantías del mismo.

La unidad productiva ayuda a jerarquizar los Equipos en Ellipse. Todos los equipos pueden estar incluidos dentro de una jerarquía, de manera que cuando el personal de mantenimiento quiera ubicar un equipo en Ellipse pueda pasar de nivel en nivel en el registro de equipos hasta encontrar el equipo en el que esté trabajando. Incluso en las instalaciones.

Ventana Información General

Figura 31. Ventana Información general en Ellipse.



Fuente. Sistema de Información Ellipse.

Ventana de Costos y garantías.

Figura 32. Costos y garantías Ellipse.

CREATE INFORMACION GENERAL DEL EQUIPO (GCB -GERENCIA REFINERIA B/BERMEJA **PR...

File Edit Tools Help

Save Revert Estructura de Planta

Codigo Nombre:

Nº Equipo:

Numero de Planta

| NIVEL 1 | NIVEL 2 | NIVEL 3 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Nro Planta:

General Costos y Garantías Activos Continuos

Código de Cuenta:

Elem Exp Reassign:

Custodio:

Operador:

Fecha Garantia:

Ingresado Por: Tipo Estadist: Valor:

Costo Permitido:

IVA Code:

MSM600B ~ 0.0011 - ENTRADA REQUERIDA

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

3. Trazabilidad del Equipo.

Figura 33. Trazabilidad del Equipo en Ellipse.

MODIFY EQUIPMENT TRACING INFORMATION (GCB -GERENCIA REFINERIA B/BERMEJA **PR...

File Edit Tools Help

Save Revert Prev Scr Next Scr Plant Structure

Name Code:

Equipment Number:

Plant Reference

| NIVEL 1 | NIVEL 2 | NIVEL 3 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Plant Number:

Component Code:

Serial Number:

Mnemonic:

Part Number:

Stock Code: Trace:

Document Number:

Original Document:

Purchase Order:

Purchase Price:

Date:

MSM60CA ~ 0.0011 - ENTRADA REQUERIDA

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

4. Especificaciones Técnicas del Equipo.

Figura 34. Texto de Especificaciones técnicas del Equipo en Ellipse.

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

5. Información de la Clasificación del Equipo.

Figura 35. Información de la Clasificación del Equipo en Ellipse.

| Classification | Code | Description | Classification | Code | Description |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| GRP. PLANTAS/NE: | | | PLANTAS/AREA: | TL | TALLERES |
| SISTEMAS: | 45 | MAQUINAS HERRAMIENT | SUBSISTEMAS: | 1P | MECANIZADO |
| PRODUCTO PROC/T: | | | EQUIPMENT CLASS: | | |
| EQUIPMENT CLASS: | DI | DISTRITO | EQUIPMENT CLASS: | | |
| TIPO DE UNIDAD: | PR | UNIDADES DE PRODUCC | POLITICAS DE MA: | PV | PREVENTIVO |
| ESPECIALIDAD DE: | M | MECANICA | FAMILIA DE COMP: | IMH | MAQUINAS HERRAMIENT |
| GRUPO DE COMPON: | | | TIPO DE COMPONE: | | |
| CLASE DE COMPON: | | | MODEL 5: | | |
| VALORACION RAM: | M | MEDIA VALORACION | CRITICIDAD ASP: | A | |
| IMPACTO DE COST: | B | | CLASIF CRITICID: | ES | ESENCIAL |

 The status bar at the bottom shows 'MSM60DA ~' and '2373 - CLASIFICACION EQUIPO MONTADO NO ESTA EN TABLA'."/>

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

6. Nombres Coloquiales.

Figura 36. Nombres Coloquiales para los equipos en Ellipse.

| | Colloquial Name |
|-------------------------------------|---------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 BALANCEADORA |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 SCHENK |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 HSV |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 MAQ DE BALANCEO |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 EQUIP DE BALANCEO |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 6 6020056 |
| <input type="checkbox"/> | 7 |
| <input type="checkbox"/> | 8 |
| <input type="checkbox"/> | 9 |
| <input type="checkbox"/> | 10 |
| <input type="checkbox"/> | 11 |
| <input type="checkbox"/> | 12 |
| <input type="checkbox"/> | 13 |
| <input type="checkbox"/> | 14 |
| <input type="checkbox"/> | 15 |

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

7. Creación y programación de las MST y Órdenes de Trabajo.

Figura 37. Programación de las MST Y WO.

| District | Work Order | W/O Desc | Task No. | Equipment Reference | Work Group | Crew | Raise Date | Originator Id | Status | Plan Start Date | Coop Code | Assign To | Plan Priority |
|----------|------------|--------------------------------------|----------|---------------------|------------|------|------------|---------------|---------|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| GCB | 00145903 | Mantenimiento Balanceadora | | TMH-BL-31 | MDDTA | | 01/09/2014 | E0229873 | Abierto | 06/09/2014 | PEI | | 2 |
| GCB | 00174086 | REVISAR Y CALIBRAR BALANCEADORA GRA. | | TMH-BL-31 | PMPEI | | 02/03/2014 | E0222701 | Abierto | 03/03/2014 | PEI | | 2 |
| GCB | 00175065 | REVISAR Y CALIBRAR BALANCEADORA GRA. | | TMH-BL-31 | PMPEI | | 20/12/2014 | E0222701 | Abierto | 21/12/2014 | PEI | | 2 |

Fuente. Sistema de Información Ellipse.

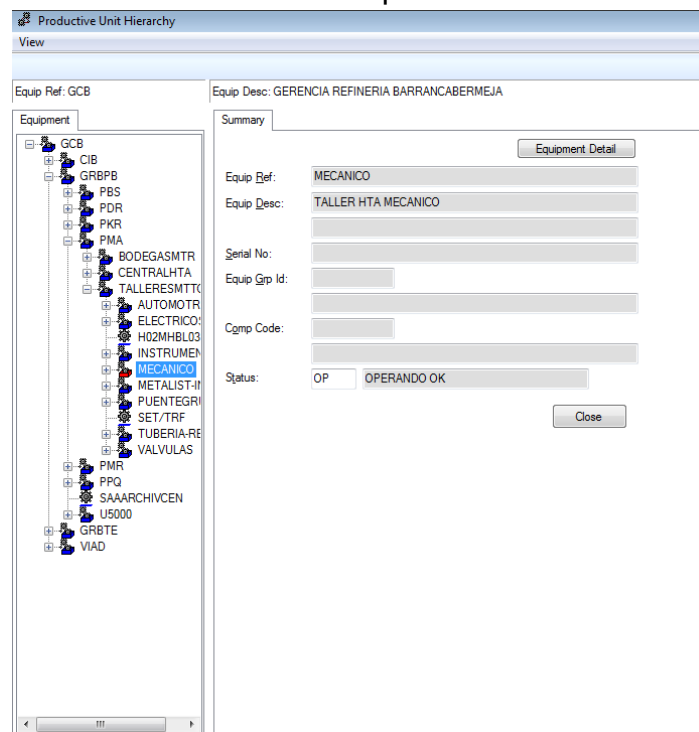
Los pasos del 1 al 6 del procedimiento se realizan en el módulo MSO600 del sistema Ellipse.

El paso 7 del procedimiento se realiza en el módulo MSO620 del sistema Ellipse.

Resultado del Almacenamiento de la Información en el sistema Ellipse.

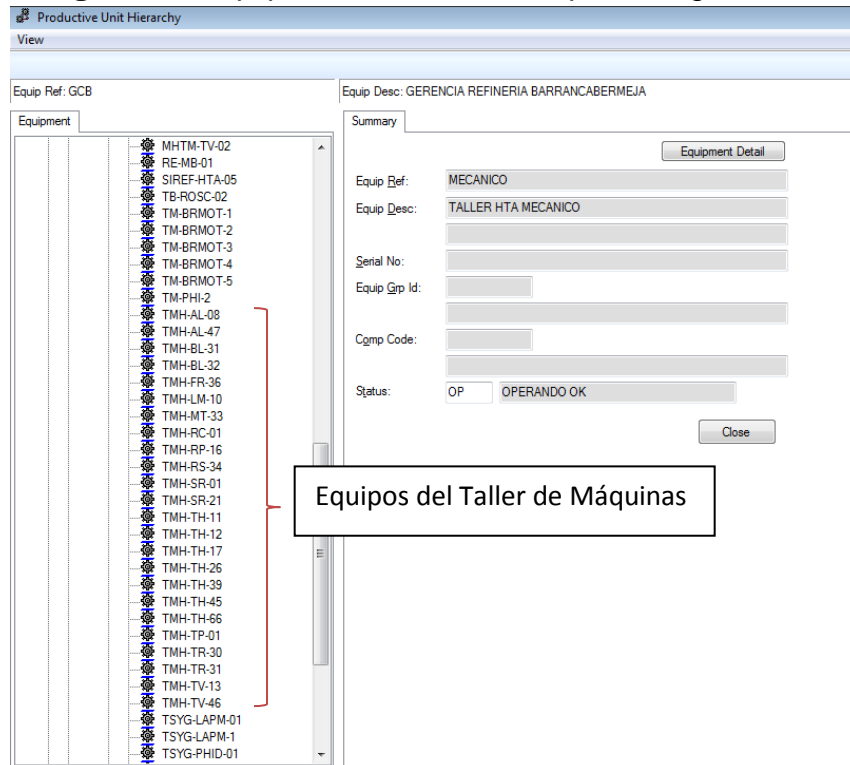
Como resultado de todo el proceso de codificación y creación de los equipos en sistema de Información Ellipse, se registraron un total de 15 equipos para la Unidad Productiva de Mecánica correspondiente al Departamento de Mantenimiento (PMA) (Ver Figuras 38 y 39), cada uno ellos con su base de datos, registro de Información Técnica y Planeación del Mantenimiento.

Figura 38. Unidades Productivas del Departamento de Mantenimiento (PMA).



Fuente. Sistema de Información Ellipse.

Figura 39. Equipos del Taller de Máquinas registrados.



Fuente. Sistema de Información Ellipse.

10. CONCLUSIONES

- El presente proyecto constituye la aplicación de la metodología del proceso de análisis RCM aplicado a los equipos de alta y media criticidad del Taller de Máquinas de la GRB correspondiente a un 63% de los equipos, sirviendo así de plan piloto para poder implementar dicha metodología en la totalidad de activos del Taller de máquinas y de todos los Talleres que hacen parte del Departamento de Mantenimiento de la GRB.
- Una vez realizada la verificación del inventario de la empresa se efectuó una comparación con los anteriores inventarios, encontrándose que no existe variación en el número de equipos dando un total de 24 máquinas herramientas, una vez validado, se recopiló información física y digital (catálogos, manuales, procedimientos y libros) para la realización de las fichas técnicas de todos los equipos pertenecientes al Taller de Máquinas de la GRB, con el propósito de tener un soporte técnico de las especificaciones, funciones y operación de estos.
- Se desarrolla un Análisis de Criticidad, efectuando encuestas al personal de mantenimiento y producción involucrado con el funcionamiento de los equipos, este método nos dio como resultado el 17% de los equipos tienen alta criticidad, el 46% de media criticidad y un 38% de baja criticidad; permitiéndonos jerarquizar los equipos en el proceso, además ayuda a determinar la mejor manera de destinar los recursos tanto humanos como económicos para mejorar su mantenibilidad.
- Se aplicó la metodología de análisis de modos de falla y efectos de la falla AMFE a los equipos seleccionados, mediante la ayuda de la hoja de información RCM en la cual se puede visualizar fácilmente las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla recopilados para cada sistema.
- Tomando como metodología el árbol lógico de decisión del proceso RCM se evaluaron las consecuencias de cada modo de falla en la cual se determinó cual sería la mejor manera de mitigar las consecuencias de cada falla arrojando como resultados tareas de mantenimiento a condición, tareas de mantenimiento

preventivas, y otras actividades o recomendaciones, como procedimientos operacionales, todo esto redactándose metodológicamente en la hoja de decisión del proceso de análisis RCM y de esta manera hacer más proactivo el mantenimiento en la empresa.

- Mediante el análisis y evaluación de las tareas de mantenimiento, se logró realizar los planes de Mantenimiento Anual diseñados para cada uno de los equipos críticos del Taller de Máquinas con estos se logrará la disminución el IPR en cada uno de los modos de falla que éstos presentan, logrando con los Planes de Mantenimiento preventivo un funcionamiento óptimo y prolongación de la vida útil de los activos.

- Se realizó un análisis de costos que arrojó como resultado un costo/beneficio del 6.75, el cual demuestra el beneficio que tiene implementar una estrategia RCM para los equipos. Además se pudo concluir que es más rentable que las labores y tareas de mantenimiento se realicen con recurso contratado, debido a los altos costos que representa un operario para la empresa Ecopetrol S.A.

- Se deja un folder por equipo el cual contiene la Ficha Técnica, el Programa de Mantenimiento Anual y un formato de Inspección y Hoja de vida del equipo, con el cual se quiere tener un seguimiento y trazabilidad de las operaciones y fechas de mantenimiento de cada equipo.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con el proceso de análisis de RCM, continuando como prioridad con los sistemas que contengan equipos críticos, seguidos de los menos críticos, abarcando así la totalidad de equipos del taller y demás áreas del Departamento de Mantenimiento de la GRB.
- Al efectuarse el diagnóstico del mantenimiento se pudo constatar que estuvo dinamizado por las acciones correctivas, de tal modo que se espera a que ocurra la falla para solucionarla inmediatamente. Implementando el AMFE se podrán generar los planes de mantenimiento requeridos para cada equipo, e igualmente se podrá alimentar el software ELLIPSE con el que cuenta la empresa y así tener un control más estricto del mantenimiento para cada uno de los activos vinculados.
- Se recomienda realizar la implementación del mantenimiento basado en condición de manera interna, ya que se cuenta con una buena fuente humana, como lo es el personal técnico de mantenimiento, el cual tiene la capacidad de afrontar esta nueva etapa.
- Actualizar las tareas del Plan de mantenimiento generado a los equipos críticos detectados, con el fin de mejorar su eficacia y evidenciar el mejoramiento continuo en el proceso.
- Gestionar la adquisición de catálogos actualizados de los equipos, además de establecer una comunicación y asesoría constante con los fabricantes de cada una de las máquinas que conforman la línea de producción.
- Es indispensable capacitar a todo el personal involucrado en las actividades de mantenimiento ya sean programadas o inusuales, con el fin de disminuir los tiempos de reparación durante la producción, en elementos o sistemas averiados de manera inesperada o prolongar el funcionamiento del equipo mientras llega la asistencia técnica por parte del fabricante.

BIBLIOGRAFIA

DOMENECH ROLDÁN, José Manuel. <http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/AMFE.pdf>.

ECOPETROL S.A., Manual Del Taladro Radial Taladro Radial: Carlton 3a, 4a, 5a . Barrancabermeja: Archivo Mantenimiento Taller De Máquinas GRB .

ECOPETROL S.A., Manual Torno Horizontal 17 : Registro De Torno Horizontal 17 Taller De Maquinas Y Herramientas. Barrancabermeja: Archivo Mantenimiento Taller De Máquinas GRB.

ECOPETROL S.A., Manual De Torno Horizontal 38: Registro De Torno Horizontal 38 Taller De Maquinas Y Herramientas. Barrancabermeja: Archivo Mantenimiento Taller De Máquinas GRB.

ECOPETROL S.A., Manual Roscadora Para Tornillo- Landis Mh 34 :Landis Machine Company, Incorporated, Waynesboro. Barrancabermeja: Archivo Mantenimiento Taller De Máquinas GRB.

ECOPETROL S.A., Torno 37 Engine Lathe Tum-25b- Technical Descripcion And Servicing Manual. Barrancabermeja: Archivo Mantenimiento Taller De Máquinas GRB.

GUTIÉRREZ GALLEGO, Jaime Andrés. Desarrollo de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión en alta tensión. Pereira, 2008; 94 p.p 32-33.

HANDLUJ, Z. Rectificadora Universal Para Cuchillas Y Otras Herramientas Nua-25.Kowary-Polonia, 1975; 34p.

HERNANDEZ HERNANDEZ, R; FLOREZ MORENO, F. Monografía de Grado para optar al título de Especialista en Evaluación y Gerencia de proyectos Especialista en Alta Gerencia.UIS. Bucaramanga, 2009.

MOKASHI, A.J; WANG, J; VERMAN, A.K. A study of reliability-centred maintenance in maritime operations. PERGAMON. Marine Policy 26, 2002; 11 p.p 325–335.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Aladon LLC, North Carolina. USA: Edwars Brothers, 2004, 1 p.p. 312-321.

PÉREZ LUGO, Mariana. Trabajo Aplicativo para sustentar las Practicas Industrial.2010. Barrancabermeja: Bilbioteca del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ).

PUJADAS, W.; FRANK CHEN, F., A reliability centered maintenance strategy for a discrete part manufacturing facility. Pergamon. Vol. 31, No. I/2, (1996); 3 p.p. 241-244.

SAE JA 1011.Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.Society of Automotive Engineers,INC 1999. 30 p.

ZHONGHUA, C.; Xisheng, J.; PING, G.; Su, W.; JIANZHAO, W. A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis. ELSEVIER. ReliabilityEngineering and System Safety 93.Beijing, 2008; 5 p.p 784–792.