

**APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) A
EQUIPOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO
TOMANDO COMO PILOTO LA FLOTA
TALADROS DE VOLADURA**

ALBERT JAIR ARIZA RINCÓN



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2008

**APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) A
EQUIPOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO
TOMANDO COMO PILOTO LA FLOTA
TALADROS DE VOLADURA**

ALBERT JAIR ARIZA RINCÓN

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2008

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la sabiduría, la fortaleza, dedicación y la salud para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres y hermana, por el apoyo espiritual, moral y material que me brindaron en estos años de mi carrera, que termina con el tan anhelado sueño hecho realidad.

A mis familiares y amigos, que me han colaborado de manera positiva en mi realización personal y formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Hermana y familiares por su constante apoyo y dedicación para poder culminar esta meta.

A Carlos Ramón González, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A los Ingenieros Libardo Lara, Francisco Serrano, Francisco Perdigón, Jose Saade por brindarme la oportunidad de realizar el proyecto en la mina, por su colaboración, y oportuna guía para crecer como profesional.

Al Ingeniero Salvador Raad por sus pertinentes colaboraciones y atención brindada.

Albert Jair Ariza Rincón.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MINA CERREJÓN (LA CAYPA)	4
1.1 CALIDAD Y LOGÍSTICA DEL CARBÓN	5
1.2 PROCESO PRODUCTIVO MINA “LA CAYPA”	6
1.2.1 Determinación área para voladura	7
1.2.2 Proceso de remoción, cargue y acarreo de estéril	8
1.2.3 Proceso de extracción y manejo de carbón	9
1.2.4 Transporte carbón al puerto	11
1.3 ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	12
1.3.1 Descripción del problema	15
1.3.2 Justificación del proyecto	16
1.3.3 Objetivos generales	17
1.3.4 Objetivos específicos	17
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO	19
2.1 SISTEMAS DEL TALADRO	21
2.1.1 Sistema de Propel	21
2.1.2 Sistema de Perforación	22
2.1.3 Sistema de Accesorios	24
2.1.4 Paquete de Potencia	27
2.1.5 Sistema Hidráulico	30
2.1.6 Sistema Eléctrico	31

2.2 PROCESO DE PERFORACIÓN	31
2.2.1 Estado del Terreno	32
2.2.2 Herramientas para la perforación de Rocas	33
2.2.3 Fases para la perforación	35
2.3 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN PARA EL TALADRO DM45E	35
2.3.1 Operaciones Generales	43
2.3.2 Observaciones Operacionales	44
3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	47
3.1 HISTORIA DEL RCM	47
3.2 DEFINICIONES DE RCM	51
3.3 EVOLUCIÓN HACIA RCM	52
3.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA METODOLOGÍA RCM	55
3.5 ANÁLISIS DE LA PLANTA PARA RCM	56
3.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	57
3.6.1 Objetivos del Análisis de Criticidad	58
3.6.2 Pasos para la aplicación del Análisis de Criticidad	61
3.7 PASOS DEL RCM	66
3.7.1 Definición del equipo o sistema	67
3.7.2 Definición de funciones del equipo	68
3.7.3 Descripción de las fallas funcionales	69
3.7.4 Descripción de los modos de falla	69
3.7.5 Descripción de efectos de falla	70
3.7.6 Aplicación Lógica de RCM	71
4. SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA RCM	89
4.1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN	89
4.1.1 Concepto de sistema	89

4.1.2	Concepto de Información	90
4.1.3	Sistema de Información	90
4.2	ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA MANTENIMIENTO	92
4.2.1	Sistemas de información manuales	92
4.2.2	Sistema de información computarizados	92
4.3	ELEMENTOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA RCM	95
4.3.1	Registro de la planta	95
4.3.2	Formato de Evaluación Análisis de Criticidad	97
4.3.3	Registro de funciones del equipo	97
4.3.4	Registro fallos funcionales	98
4.3.5	Registro modos de falla	99
4.3.6	Registro efectos de falla	99
4.3.7	Evaluación de consecuencias de falla y tareas propuestas	99
4.4	PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM	101
4.4.1	Marco teórico	101
4.4.2	Ventajas del mantenimiento preventivo	101
4.4.3	Aplicación de los programas	102
4.4.4	Frecuencias de las inspecciones	102
4.4.5	Programas realizados por los operarios	103
4.4.6	Ningún mantenimiento programado	103
4.5	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REALIZADO PARA EL TALADRO DE VOLADURA	104
4.5.1	Inspección técnica para el taladro de voladura	105
4.5.2	Informes de inspección	105
4.5.3	Tramitación de los informes de inspección	106

5. APLICACIÓN RCM A LOS TALADROS DE VOLADURA	110
5.1 GRUPO DE TRABAJO PARA RCM	114
5.1.1 Funciones del grupo de trabajo para RCM	115
5.1.2 Facilitador para RCM	117
5.1.3 Reuniones para RCM	119
5.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA EL TALADRO DE VOLADURA	121
5.3 VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS RCM	125
5.3.1 Definición de los sistemas del taladro	125
5.4 RESULTADOS DEL ESTUDIO RCM	132
5.5 APLICACIÓN LÓGICA RCM A LOS TALADROS DE VOLADURA	138
6. CONCLUSIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	157

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vista General Mina “La Caypa”	4
Figura 2. Ubicación Geográfica	5
Figura 3. Operación Minera	7
Figura 4. Perforación y voladura del terreno	8
Figura 5. Proceso de remoción, cargue y acarreo de estéril	9
Figura 6. Extracción de carbón	10
Figura 7. Transporte y trituración de carbón en el acopio	11
Figura 8. Proceso de transporte y cargue de carbón al buque	12
Figura 9. Organigrama Departamento de mantenimiento	13
Figura 10. Procedimientos para realizar PM	14
Figura 11. Partes del taladro de perforación	20
Figura 12. Taladro de voladura DM-45E	21
Figura 13. Sistema Propel	22
Figura 14. Sistema perforación	23
Figura 15. Mástil (Torre de perforación)	24
Figura 16. Colector de polvo	26
Figura 17. Sistema centralizado de lubricación	27
Figura 18. Paquete de potencia	29
Figura 19. Sistema hidráulico	30
Figura 20. Proceso de perforación	32
Figura 21. Perforaciones en ángulo	33
Figura 22. Grupo de perforación	34

Figura 23. Controles taladro de perforación	45
Figura 24. Nuevos modelos de falla	53
Figura 25. Aspectos de la Confiabilidad operacional	57
Figura 26. Modelo básico de Criticidad	59
Figura 27. Listado de equipos a estudiar dentro del Análisis de Criticidad	62
Figura 28. Ecuación de criticidad	63
Figura 29. Matriz de Criticidad	65
Figura 30. Pasos para aplicar el RCM	66
Figura 31. Definición de equipos y sistemas	67
Figura 32. Tiempo de acción correctiva de una máquina	71
Figura 33. Aplicación lógica de RCM	73
Figura 34. Criterios de funcionamiento y fallos ocultos	75
Figura 35. Proceso de decisión de fallas ocultas	75
Figura 36. Consecuencias de Seguridad o Medio ambiente	76
Figura 37. Consecuencias operacionales	77
Figura 38. Análisis Consecuencias de fallo	78
Figura 39. Proceso selección de tareas de mantenimiento	81
Figura 40. Límite de vida segura	83
Figura 41. Fallos múltiples	85
Figura 42. Control estadístico de procesos	86
Figura 43. Árbol Lógico de Decisiones	88
Figura 44. Obtención y circulación de información	91
Figura 45. Variables de entrada del sistema de información	94
Figura 46. Variables de salida del sistema de información	94
Figura 47. Elementos básicos de SI para RCM	96
Figura 48. Numeración de componentes	96
Figura 49. Registro Evaluación para el Análisis de Criticidad	97

Figura 50. Registro funciones del equipo	98
Figura 51. Registro fallos funcionales	98
Figura 52. Registro modos de falla	99
Figura 53. Registro efectos de falla	100
Figura 54. Evaluación de consecuencias de falla y tareas mantenimiento	100
Figura 55. Plan de mantenimiento para el taladro de voladura	104
Figura 56. Proceso tramitación de informes	106
Figura 57. Formato para órdenes de trabajo	107
Figura 58. Formato de inspección	108
Figura 59. Formato hoja de información	109
Figura 60. Diagrama para aplicación RCM	111
Figura 61. Grupo de trabajo para RCM	114
Figura 62. Actividades a realizar por el grupo de trabajo	115
Figura 63. Actividades que debe realizar el facilitador	118
Figura 64. Pasos para las reuniones de RCM	120
Figura 65. Registro de evaluación para el análisis de criticidad	123
Figura 66. Resultados de análisis de criticidad en Matriz General de Criticidad	124
Figura 67. Lista jerarquizada de equipos	124
Figura 68. Partes del sistema hidráulico	126
Figura 69. Niveles de estudio RCM sistema hidráulico	127
Figura 70. Partes del sistema compresor	128
Figura 71. Circuito lubricación del sistema compresor	129
Figura 72. Niveles de estudio RCM sistema compresor	131

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Descripción Equipos de la Mina	6
Tabla 2. Aspecto de funcionamiento del perforador	19
Tabla 3. Fases en la perforación	35
Tabla 4. Procedimiento de operación del taladro	36
Tabla 5. Acciones del RCM	53
Tabla 6. Fases para aplicar RCM	56
Tabla 7. Criterios de Evaluación de Criticidad	63
Tabla 8. Sistema taladro de voladura	121
Tabla 9. Hoja de información RCM del sistema hidráulico	133
Tabla 10. Hoja de información RCM sistema de compresor	135
Tabla 11. Tabla de consecuencias para la seguridad física	138
Tabla 12. Consecuencias para el medio ambiente	139
Tabla 13. Consecuencias operacionales	140
Tabla 14. Consecuencias no operacionales	141
Tabla 15. Imagen para la empresa	142
Tabla 16. Valoración para consecuencias de fallas ocultas	142
Tabla 17. Pesos de cada consecuencia con falla múltiple	143
Tabla 18. Pesos de cada consecuencia sin falla múltiple	143
Tabla 19. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema hidráulico	145
Tabla 20. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema compresor	148
Tabla 21. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema de lubricación y aire comprimido	151

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Actividades de Mantenimiento para Perforadores DM45/L	158
ANEXO B. Inspección Semanal	161
ANEXO C. Registro ejecución Inspección 100 horas	162
ANEXO D. Registro de ejecución PM 250 horas	163
ANEXO E. Registro de ejecución P.M. 500 horas	164
ANEXO F. Registro de ejecución PM 1000 horas	165
ANEXO G. Registro de ejecución P.M. 2000 horas	166

RESUMEN

TÍTULO:

APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) A EQUIPOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO TOMANDO COMO PILOTO LA FLOTA DE TALADROS DE VOLADURA. *

AUTORES:

Albert Jair Ariza Rincón.**

PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Mina de carbón, Taladros de voladura, Análisis de falla.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es fortalecer los vínculos de la universidad con la minería por medio de una metodología práctica RCM aplicada en la mina la Caypa cuyo propósito es alcanzar y mejorar las condiciones de trabajo de mantenimiento en los taladros de voladura llevando a cabo una proyección absolutamente notable en la eficiencia de estos equipos.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) aplicado a los taladros de perforación se centrará en la implementación y desarrollo de un sistema eficiente y poco explorado en equipos móviles de minería a cielo abierto de manera que pueda dar solución a problemáticas a tratar en su mantenimiento. las cuales se refieren a la baja disponibilidad de sus activos y altos costos.

El proyecto comprende las siguientes etapas: Información sobre ubicación y trabajos desarrollados en la mina, comprendiendo el proceso de extracción de carbón; descripción del taladro de voladura, basados en sus sistemas y componentes, dando a conocer los criterios de perforación y desarrollo de procedimientos para la operación del taladro; estudio de la metodología RCM, especificando las fases para su implementación; análisis de un sistema de información manual para RCM, donde se dan a conocer los diferentes registros y planes de mantenimiento basados en RCM. Por último se realiza la aplicación del sistema RCM a los taladros de voladura.

El resultado es una metodología de gestión del mantenimiento en los equipos de la mina asegurando que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados, centrado en la confiabilidad operacional. En términos generales, permite distribuir de forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, tomando en cuenta la importancia de los activos dentro del contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de fallas de estos activos, sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Carlos Ramón González.

SUMMARY

TITLE:

APPLICATION DE MANTENIMIENTO CENTERED IN RELIABILITY (RCM) TO MINING TEAMS TO OPEN SKY TAKING LIKE PILOT THE FLEET OF EXPLOSION DRILLS.*

AUTHORS:

Albert Jair Ariza Rincón.**

KEY WORDS:

Reliability Centered Maintenance, Mine of Coal, Explosion Drills, Flaw Analysis.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to strengthen the bonds of the university with the mining by means of a practical methodology RCM applied in the mine Caypa whose purpose is to reach and to improve the conditions of maintenance work in the explosion drills carrying out an absolutely remarkable projection in the efficiency of these teams.

The maintenance centered in reliability (RCM) applied to the perforation drills will be centered in the implementation and development of an efficient system and little explored in mobile teams of mining to open sky so that he can give solution to problematic to try in its maintenance, which refer at the little readiness of its assets and high costs.

The project understands(includes) the following stages: Information on location and works developed in the mine, understanding(including) the process of coal extraction; description of the drill of blowing-up, based on his systems and components, announcing the criteria of perforation and development of procedures for the operation of the drill; study of the methodology RCM, specifying the phases for his implementation; analysis of a system of manual information for RCM, where there are announced the different records and plans of maintenance based on RCM. Finally there is realized the application of the system RCM to the drills of blowing-up.

The result is a methodology of management of the maintenance in the teams of the mine assuring that the assets continue completing the functions for which were designed, centered in the operational dependability. In general terms, it allows to distribute in an effective way the resources assigned to the maintenance management, taking into account the importance of the assets inside the operational context and the possible effects or consequences in the ways of flaws of these assets, on the security, the atmosphere and the operations.

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Carlos Ramón Gonzalez.

INTRODUCCIÓN

La competencia y la globalización de la economía están siendo aspectos fundamentales de una dinámica que está llevando a las empresas hacia el cambio, la construcción de empresas de clase mundial, comprometidas con las tareas de satisfacer a sus clientes y niveles de rentabilidad excelentes. Para alcanzar estos retos las empresas desarrollan planes que ayudan a disminuir costos operacionales, pudiendo afectar sus activos físicos. En este punto las empresas se encuentran en problemas puesto que no saben como optimizar los recursos sin sacrificar la calidad del servicio que se brinda a los clientes.

El objetivo principal de este trabajo es aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a la flota Taladros de Voladura con el propósito de que sea implementado en las otras flotas de la mina claramente definido y dentro de unos requerimientos dados por el usuario de este sistema, que en este caso será la empresa Carbones Colombianos del Cerrejón S.A., la cuál realiza operaciones de extracción de carbón en el Cerrejón zona central del municipio de Barrancas en el departamento de La Guajira y que requiere optimizar el mantenimiento para obtener la confiabilidad de sus equipos.

Se trabaja el RCM ya que es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, el cual es útil para el desarrollo y optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

Aplicando RCM se busca reducir el costo de mantenimiento, enfocándose en las funciones más importantes de los sistemas, evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son necesarias.

El mantenimiento RCM realiza una integración en las revisiones de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y medio ambiente, ya que estos aspectos se deben tener en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

Para este proyecto se toma como piloto la flota de taladros de voladura ya que en la mina la Caypa de Carbones Colombianos del Cerrejón se cuenta con dos (2) de estos equipos modelo DM45 que son esenciales en el desarrollo del Plan Minero; por lo tanto, el Departamento de Mantenimiento debe además de brindar una alta disponibilidad, lograr la mayor confiabilidad del equipo como aporte al logro de los objetivos operacionales. En este orden de ideas y ante el reto asumido por Mantenimiento, se eligió aplicar a los taladros la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad por ser la que más se ajusta a las condiciones y requerimientos de mantenimiento para el logro de las metas organizacionales de manera costo-efectiva.

El proyecto aporta a la empresa un sistema que reduce la cantidad de mantenimiento rutinario habitual desde un 40% hasta un 70%.

El RCM contiene un lenguaje técnico común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados en el desarrollo de este sistema, permitiendo al personal saber qué pueden y qué no pueden esperar de esta aplicación y que se debe hacer para conseguirlo.

Aplicando el RCM correctamente a la empresa produce los siguientes beneficios:

- Mayor seguridad y protección en los equipos.
- Mejores rendimientos operativos.
- Mayor control de los costos del mantenimiento.

- Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.
- Mayor motivación de las personas, especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de los equipos en su contexto operacional amplio, junto con un compartir más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones obteniendo mayores probabilidades de éxito.
- Mejor trabajo en grupo, motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones.

Con la implementación de este mantenimiento se busca crear en la compañía un espíritu altamente crítico en todo el personal (operaciones-mantenimiento) frente a condiciones de falla y averías; optimizando la confiabilidad operacional, maximizando la disponibilidad y mejorando la mantenibilidad de los equipos de la mina. Con estos aspectos se distribuye de forma racional los recursos económicos asignados al sector mantenimiento, aprovechando al máximo el recurso humano y tecnológico existente para la realización de actividades de mantenimiento para los equipos de minería.

Este proyecto está estructurado de la siguiente manera: el primer capítulo muestra la ubicación de la mina y el proceso productivo para llevar a cabo la extracción de carbón; en el segundo capítulo se describe el taladro de voladura y los procedimientos de operación. El estudio y desarrollo de la metodología RCM se trata con gran profundidad en el capítulo tres así: reseña histórica, definiciones y evolución hacia RCM, la fundamentación teórica del sistema y los pasos para aplicar RCM; en el capítulo cuatro se muestra el sistema de información para RCM; y en el capítulo cinco se realiza la aplicación de RCM a los taladros de voladura.

1. MINA CERREJON (LA CAYPA)

Carbones Colombianos del Cerrejón inicio operaciones en 1996. Esta es una compañía dedicada a la explotación de carbón en la Guajira (Colombia). La producción total de la mina es exportada a diferentes países de Europa. El carbón es triturado y clasificado en la planta de la mina, después se carga mediante bandas transportadoras en tracto-mulas rumbo al puerto de Santa marta a 235 Km.

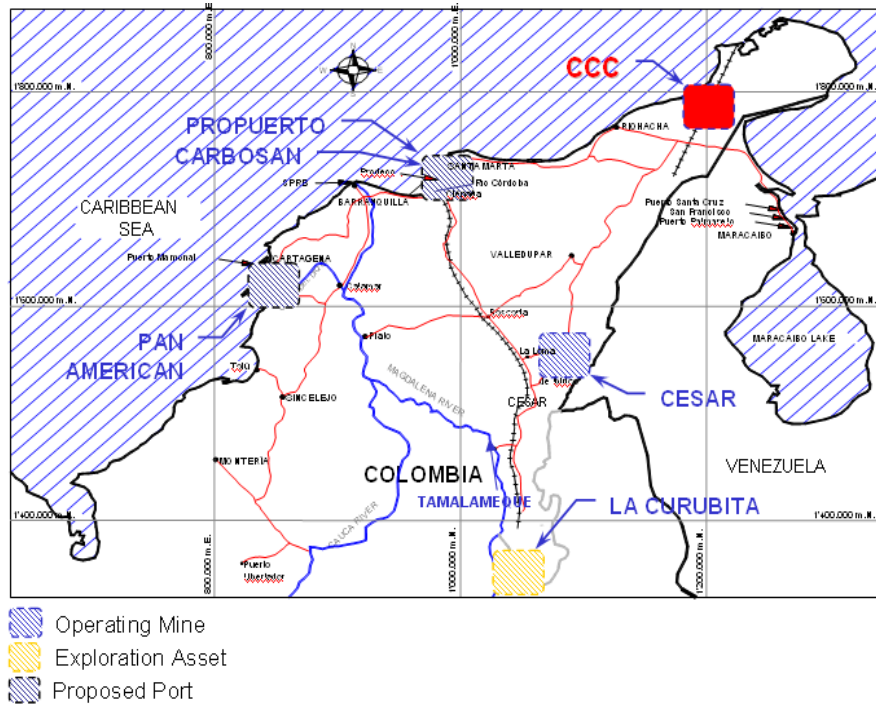
Figura 1. Vista General Mina “LA CAYPA”



La mina esta localizada en la región norte de Colombia, en el departamento de la Guajira, municipio de Barrancas, en el sector denominado “AREA DE

LA COMUNIDAD DEL CERREJON". Total concesión de área es de 300 hectáreas. Tiene sus oficinas principales en Bogota (Colombia).

Figura 2. Ubicación Geográfica.



IMPORTANTES DISTANCIAS DESDE LA MINA:

VALLEDUPAR	125 Km.
SANTA MARTA	235 Km.
RIOHACHA	105 Km.
CERREJON ZONA NORTE	30 Km.

1.1 CALIDAD Y LOGISTICA DEL CARBON

- Tipos 0x50, 0x200 y 50x200
- Secuencia minera y plan de producción dirigidos a obtener máximos ingresos por la venta del carbón.

- Actualización de la calidad y cantidad de las reservas en forma permanente.
- Control del tamaño del carbón enviado a Puerto.
- Muestreo en el Puerto durante el cargue de Buques, para certificación de la calidad embarcada (% de Ceniza, BTU, Humedad, Azufre).
- Transporte del carbón al Puerto en tracto mulas capacidad de 34 a 35 toneladas, contratadas y con cumplimiento de las normas ambientales y de transporte pertinentes.
- Control de la calidad y cantidad del carbón despachado a Puerto (Santa Marta) durante el cargue en la mina y al descargue en Puerto, contratado con una compañía de Inspección (S.G.S).

1.2 PROCESO PRODUCTIVO MINA “LA CAYPA”

En la mina se lleva a cabo la extracción de carbón cumpliendo con los parámetros de seguridad, garantizando la integridad del personal. La mina esta conformada por las siguientes flotas y sus respectivos números de equipos:

Tabla 1. Descripción Equipos de la Mina

FLOTAS DE LA MINA
Palas Frontales - 2 equipos
Palas Retro - 2 equipos
Camiones - Hitachi 1600 - 8 equipos
Camiones Euclid R85 y R90 - 9 equipos
Taladros perforación - 2 equipos
Motoniveladoras CAT - 2 equipos
Tractores orugas y llantas - 2 equipos

El proceso productivo en la mina se rige bajo las siguientes actividades, como se muestra en la figura 3:

Figura 3. Operación Minera

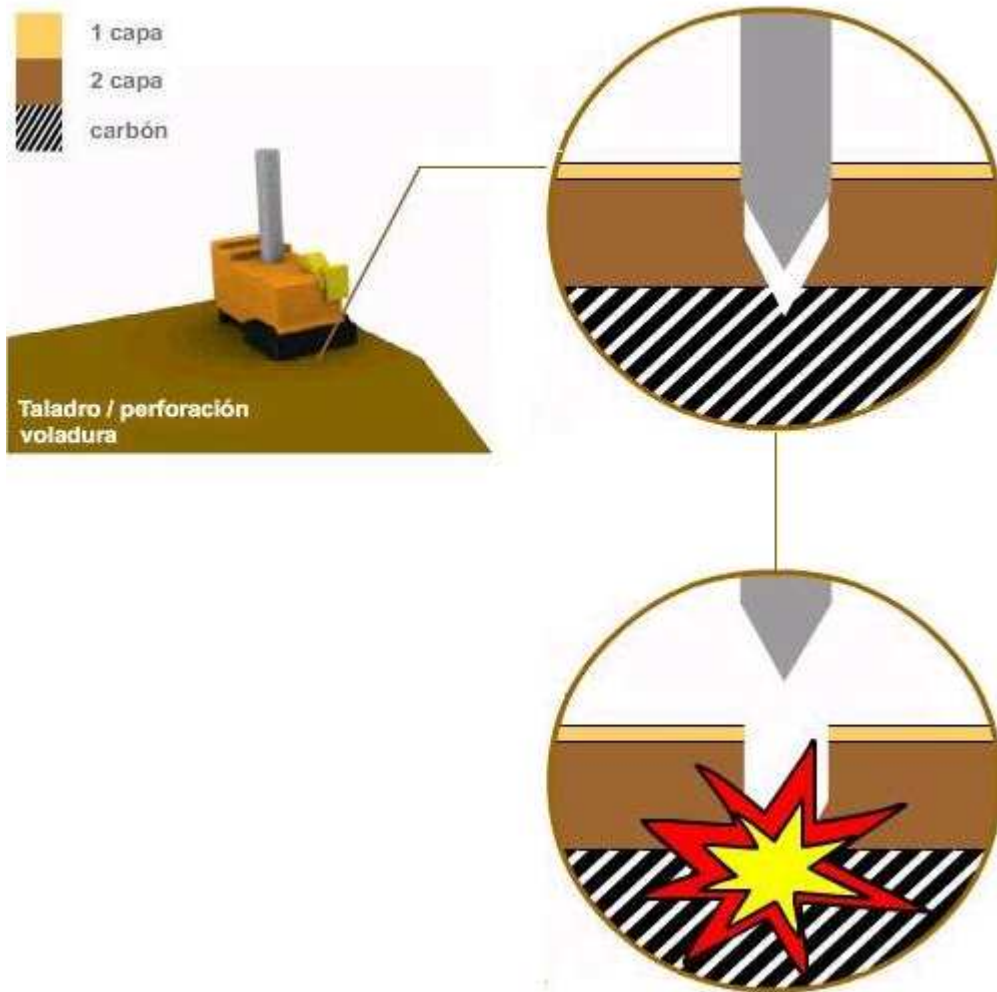


1.2.1 Determinación área para voladura

Esta área se determina por el departamento de Planeación, quien entregará semanalmente éste trabajo al Jefe de voladura para así en conjunto con el supervisor de turno realizar los arreglos de las plazas (terrenos) de manera que facilite la operación del taladro y camión de explosivos. Seguidamente con el taladro se realizan los barrenos a una profundidad específica teniendo el operador todos los parámetros de seguridad y labor bajo control, determinado la longitud del barreno y temperatura se procede a cargarlo con los accesorios para la voladura (Pentofex, detonante, fulminantes y mechas),

ya que ésta área esta controlada por el personal adecuado. Ilustrado en la figura 4.

Figura 4. Perforación y voladura del terreno

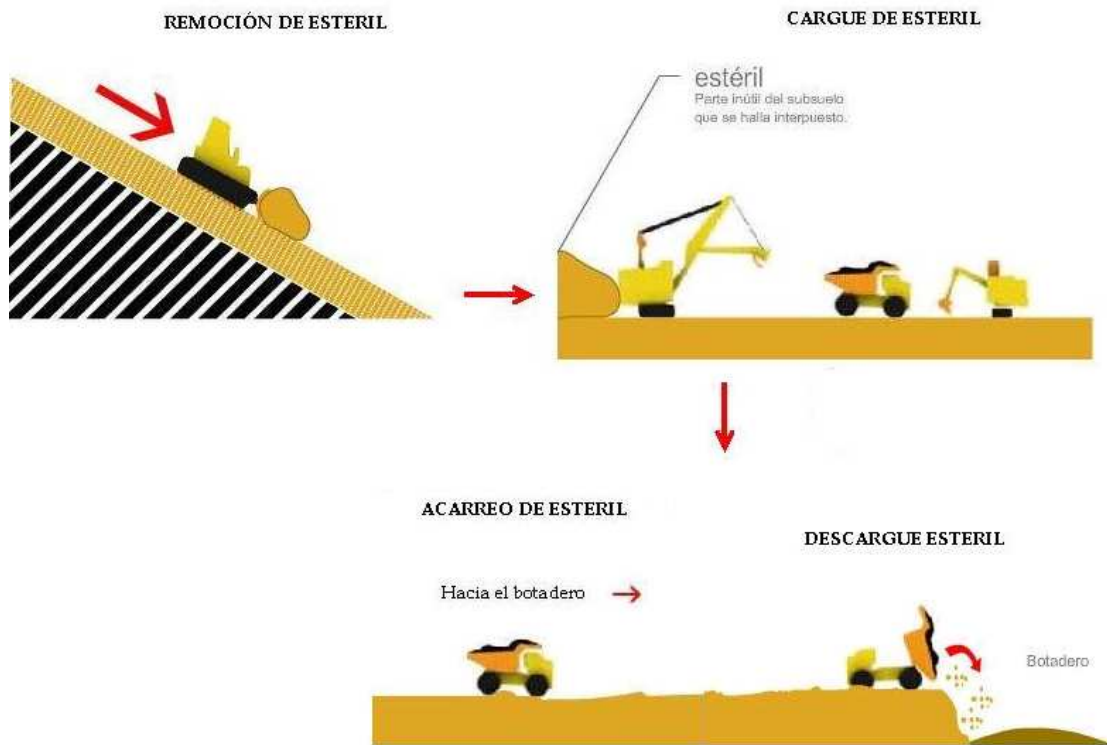


1.2.2 Proceso de remoción, cargue y acarreo de estéril

El terreno ya volado se le entrega al Superintendente de producción para realizar la inspección y así disponer de la maquinaria de cargue (Palas frontales y retroexcavadoras) para remover el estéril dirigiendo éste material en el equipo de acarreo (Camiones) hacia los botaderos optimizando los ciclos

para los equipos en cantidad y tiempo de recorrido. Como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Proceso de remoción, carga y acarreo de estéril



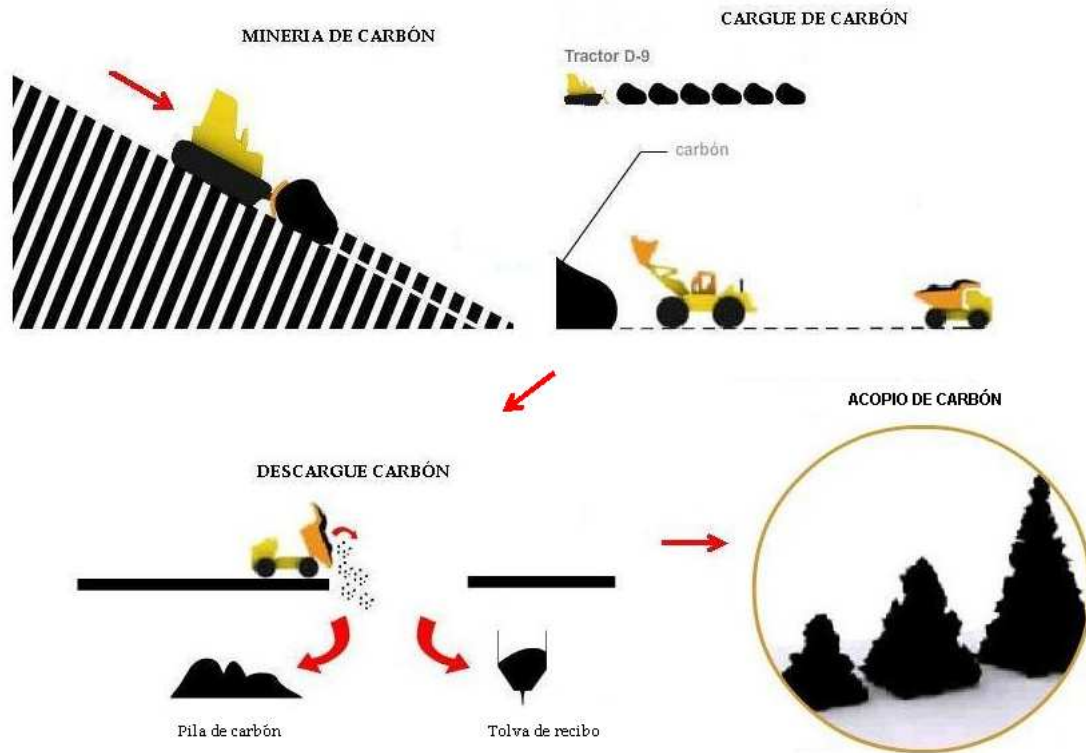
1.2.3 Proceso de extracción y manejo de carbón

La mina está dividida en niveles, paneles y sectores para poder identificar los mantos de carbón, cuando se ha removido la capa de estéril del manto se realizan los trabajos de limpieza y definición del carbón, cumpliendo con los estándares de calidad.

En el proceso de carga y transporte de carbón hacia el acopio se utilizan equipos como retroexcavadoras, cargadores, camiones R-90 y dobletroques.

Para el descargue del carbón en el patio se han determinado ciertas pilas con su respectiva distinción en cuanto a la calidad del carbón para así poder comercializarlo. Este ciclo se observa en la figura 6.

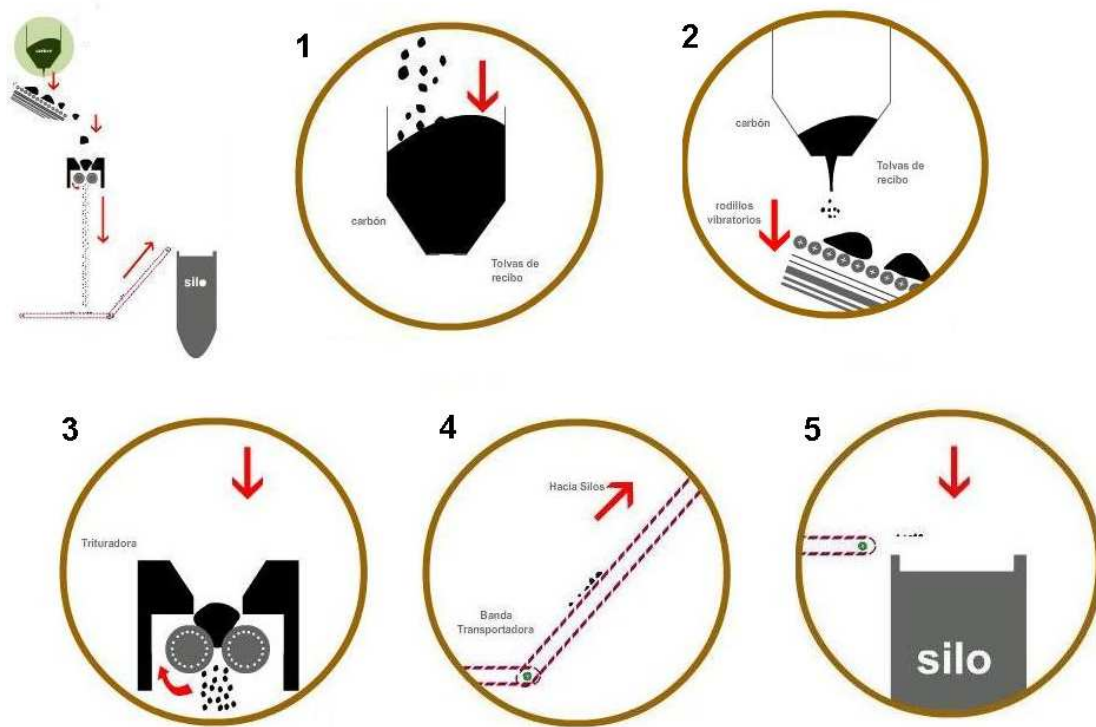
Figura 6. Extracción de carbón



El Departamento de Calidad y Logística de carbón especifica la calidad y cantidad de carbón situado en el acopio, realizando los controles de las propiedades de éste para su venta a los diferentes clientes. La compañía ha manejado durante varios años dos tipos de carbón, triturado (0*50) y ROM (0*200), éste último se descarga directamente a la tolva de recibo y se despacha tal como se extrae de la mina, cumpliendo con los porcentajes de calidad en ceniza, humedad, materia volátil y poder calorífico.

En la figura 7 se ilustra el ciclo del carbón en la planta el cual se transporta por bandas y tolvas de recibo realizando las mezclas pertinentes para entregar el mejor producto.

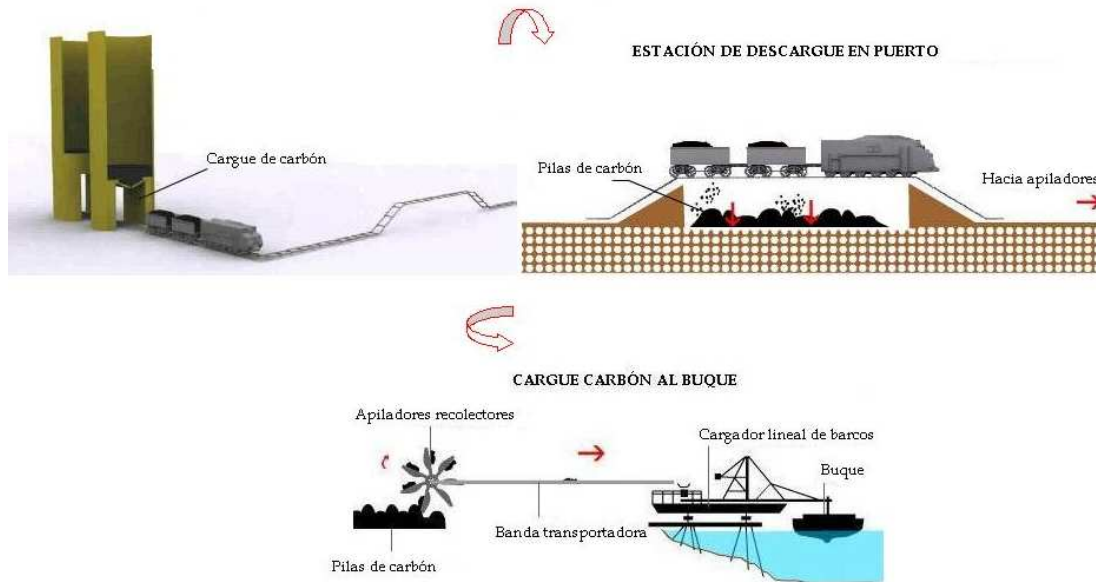
Figura 7. Transporte y trituración de carbón en el acopio



1.2.4 Transporte carbón al Puerto

El carbón de la mina se carga por medio de bandas transportadoras a tracto mulas con una capacidad de 34 o 35 ton, estos vehículos llevan el carbón al puerto ubicado en Santa Marta en donde por un contrato externo bajo un proceso similar en el cargue de carbón se despacha el buque contratado por el cliente.

Figura 8. Proceso de transporte y cargue de carbón al buque



1.3 ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El departamento de mantenimiento está organizado como se muestra en la figura 9.

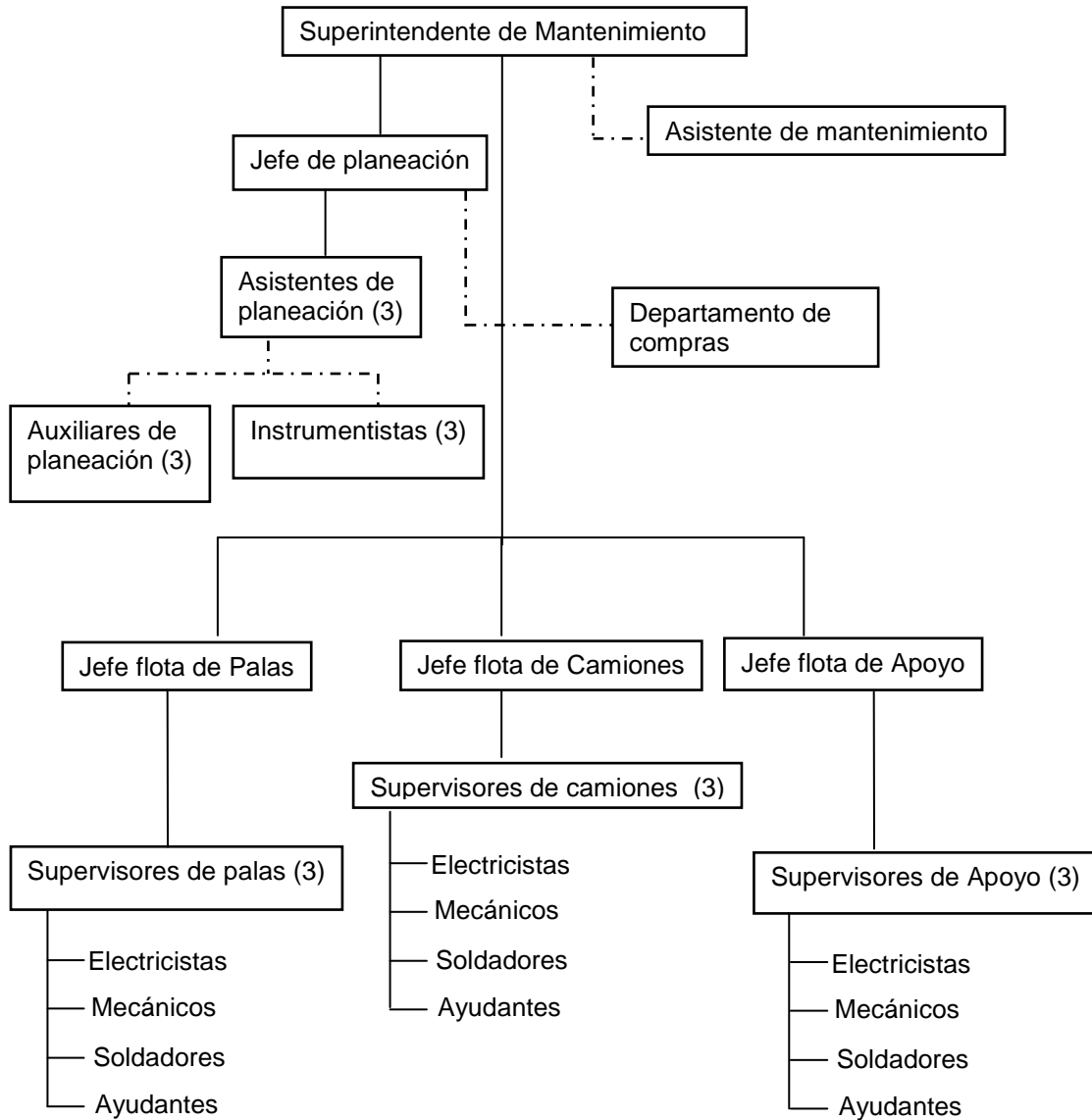
En ésta área se realizó una distribución de los equipos por flotas como son la de acarreo, palas y apoyo, para tener un grupo de trabajo teniendo la directriz de los jefes de flotas, supervisores y auxiliares que realizan las tareas correspondientes para dar un resultado en la confiabilidad operacional y disponibilidad de los equipos.

Cada flota esta distribuida de la siguiente manera:

- ❖ La flota de acarreo la conforma 17 camiones con capacidad de 90 ton.
- ❖ La flota de palas tiene 2 clases de equipos que son las palas frontales y las retroexcavadoras que tienen una capacidad aproximadamente desde 15 hasta 9 metros cúbicos.

- ❖ La flota de apoyo tiene a cargo motoniveladoras, tractores, taladros de perforación y los equipos estáticos como generadores y luminarias.

Figura 9. Organigrama Departamento de Mantenimiento

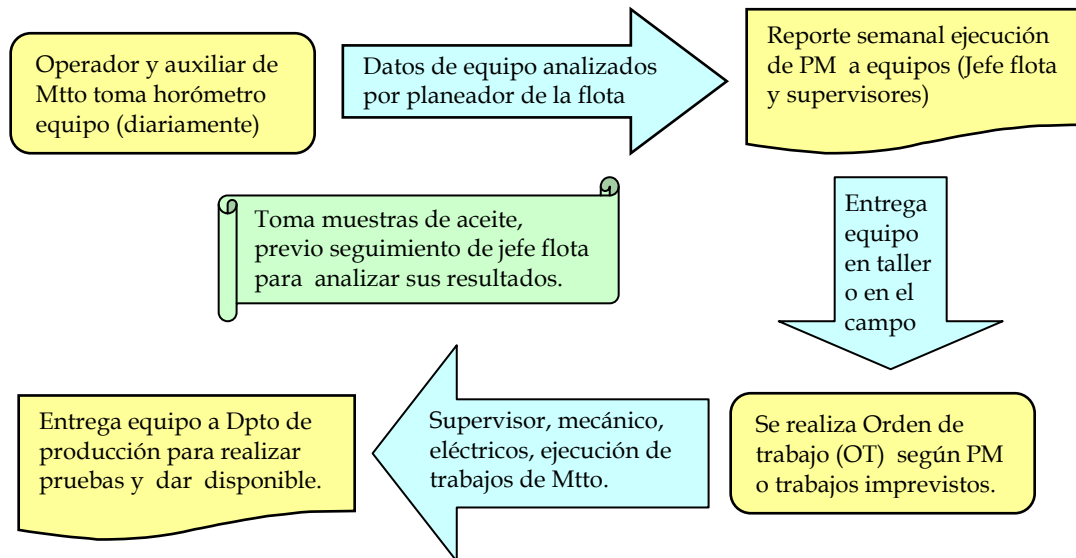


Para realizar los trabajos de mantenimiento a los equipos, ya sea porque están programados para un PM (Mantenimiento Preventivo) o en su operación por alguna falla mecánica o eléctrica el equipo quede down, los supervisores, en

relación con los auxiliares de campo y de taller evalúan el caso, tomando las decisiones correspondientes para tener lo mas rápido posible el equipo disponible.

El seguimiento realizado por el personal de mantenimiento a los equipos se ve reflejado en inspecciones semanales y controles en los PM, ya que estos se desarrollan de acuerdo a los horómetros de cada equipo, teniendo como base que cada planeador debe tener en conjunto con el jefe de la flota toda la información de los equipos para así cumplir con los esquemas y desarrollo de un mantenimiento costo-efectivo. El proceso para realizar el mantenimiento preventivo a los equipos se ilustra en la figura 10.

Figura 10. Procedimientos para realizar PM.



La ruta específica para realizar trabajos de mantenimiento para cualquier equipo en el taller o por fallas aleatorias se dan con previo aviso del supervisor de producción bajo la comunicación vía radio-teléfono al personal de mantenimiento para así tomar las decisiones correctas par atender los

casos de manera rápida y efectiva colocando los equipos disponibles en el menor tiempo posible y con la confiabilidad esperada.

1.3.1 Descripción del problema

En los últimos años se ha evolucionado en la implementación y aplicación del mantenimiento para los equipos de la mina, desarrollando el mantenimiento preventivo, a la par con el correctivo. Los cambios en los activos físicos (planta, equipo) inducen a diseños más complejos y nuevas técnicas de mantenimiento mejorando las responsabilidades del personal en el Departamento de mantenimiento y su organización.

El mantenimiento también está respondiendo a las expectativas que cambian. Estos incluyen un conocimiento rápido de crecimiento del grado el cual la falla del equipo afecta seguridad y el medio ambiente; un conocimiento de crecimiento de la conexión entre el mantenimiento y calidad del producto, para alcanzar alta disponibilidad de la planta y de reducir costos.

Los cambios están probando actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria al límite. La gente de mantenimiento teniendo que adoptar totalmente nuevas maneras del pensamiento y de actuar, como ingenieros y como encargados. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas del mantenimiento están llegando a ser cada vez más evidentes.

Frente a esta avalancha de cambio, se desea implementar un mantenimiento evitando el comienzo falso y los callejones sin salida que acompañan siempre agitaciones importantes. Aplicando el RCM en un marco estratégico que sintetice los nuevos progresos en un patrón coherente en la compañía,

mejorando las relaciones entre los diferentes departamentos que lo utilizan, sus activos físicos existentes y la gente coordinada manteniendo esos activos. También permite a activos nuevos ser puestos en servicio eficazmente con grandes velocidad, confianza y precisión. Es decir, se necesita aplicar un mantenimiento que funcione óptimamente y que sea costo-efectivo.

1.3.2 Justificación del proyecto

Atendiendo las necesidades del sector energético, específicamente del sector minero, se realiza este proyecto con el Departamento de Mantenimiento en la mina la Caypa, cumpliendo con el propósito de la compañía, en base al conocimiento y puesta en marcha del sistema RCM para alcanzar y mejorar las condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas del mantenimiento llevando a cabo una proyección absolutamente notable en la eficiencia de los equipos.

Con este proyecto se asegura la metodología de gestión del mantenimiento en los equipos de la mina asegurando que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados. Es decir, estará centrado en la confiabilidad operacional.

En términos generales, permite distribuir de forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, tomando en cuenta la importancia de los activos dentro del contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de fallas de estos activos en su operación, seguridad y el medio ambiente.

1.3.3 Objetivo general

Realizar un proyecto práctico cuyo propósito es su implementación real dentro de la industria para generar unos beneficios económicos a corto plazo y promover el desarrollo de mantenimiento centrado en confiabilidad para su aplicación en equipos móviles de minería a cielo abierto.

1.3.4 Objetivos específicos

- ✓ Estudiar, desarrollar y aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad a la flota de taladros de voladura, tendiente a ser implementado en las otras flotas existentes en la mina.
- ✓ Identificar, describir los sistemas y funciones de los taladros de voladura analizando los requerimientos de operación del sistema.
- ✓ Realizar análisis de fallas funcionales (FMECA) en los diferentes sistemas de un taladro para voladura modelo DM45 utilizando diagramas de entrada, proceso y salida, clasificación de las fallas (bajo y alto impacto), seleccionando los ítems críticos, para determinar y analizar que componentes y sistemas se caracterizan como funcionalmente significativos.
- ✓ Capacitar al personal en Análisis de falla Causa Raíz (RCFA); modos de falla y herramientas estadísticas básicas para el control de procesos con enfoque a la metodología RCM.
- ✓ Seleccionar estrategias y procedimientos de mantenimiento realizando análisis de inspección para determinar que datos son necesarios para el soporte del RCM aplicado a los taladros DM45 (Árbol lógico de decisiones).

- ✓ Evidenciar los procesos, procedimientos, actividades y registros desarrollados y tomados en la implementación de la metodología RCM en los taladros, elaborando esquemas para los requisitos de mantenimiento como formatos que nos den un óptimo nivel en la práctica desarrollada para los taladros DM45.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El taladro de perforación DM-45E es una máquina de perforación rotatoria diseñada específicamente para huecos de voladura de 7'-7/8" a 9'-7/8", con tubería intercambiable de 30 pies de longitud. Las funciones de operación son comandadas hidráulicamente y se usa aire comprimido para limpiar el agujero y mover algunos accesorios. Las bombas hidráulicas son potenciadas por un motor diesel.

Tabla 2. Aspectos de funcionamiento del perforador.

	Baja presión	Alta presión
Energía	425 -525 cv 316 -392 kW	425 -525 cv 316 -392 kW
Entrada	45.000 libras / 20.400 kg.	45.000 lb. / de 0 a 20.400 kg)
Rotación	33 pies 6 pulg. / 10,2 m)	33 pies 6 pulg. / 10,2 m)
Aire	900 -1200 cfm a 110 psi 25,5 -34 m3/min a 7,6 bar	900 -1070 cfm a 350 psi 25,5 -34 m3/min a 7,6 bar
Tamaño del tubo de perforación	30 pies / 9,1 m de 4-1/2 a 7 pulg. / de 114 a 178 mm	30 pies / 9,1 m De 4-1/2 a 7 pulg. / de 114 a 178 mm
Profundidad	De 90 a 175 pies De 27 a 53 m	De 90 a 175 pies De 27 a 53 m

El taladro de perforación de pozos para voladura estructuralmente está dividido en las siguientes partes, ilustrado en la figura 11.

Figura 11. Partes del taladro de perforación

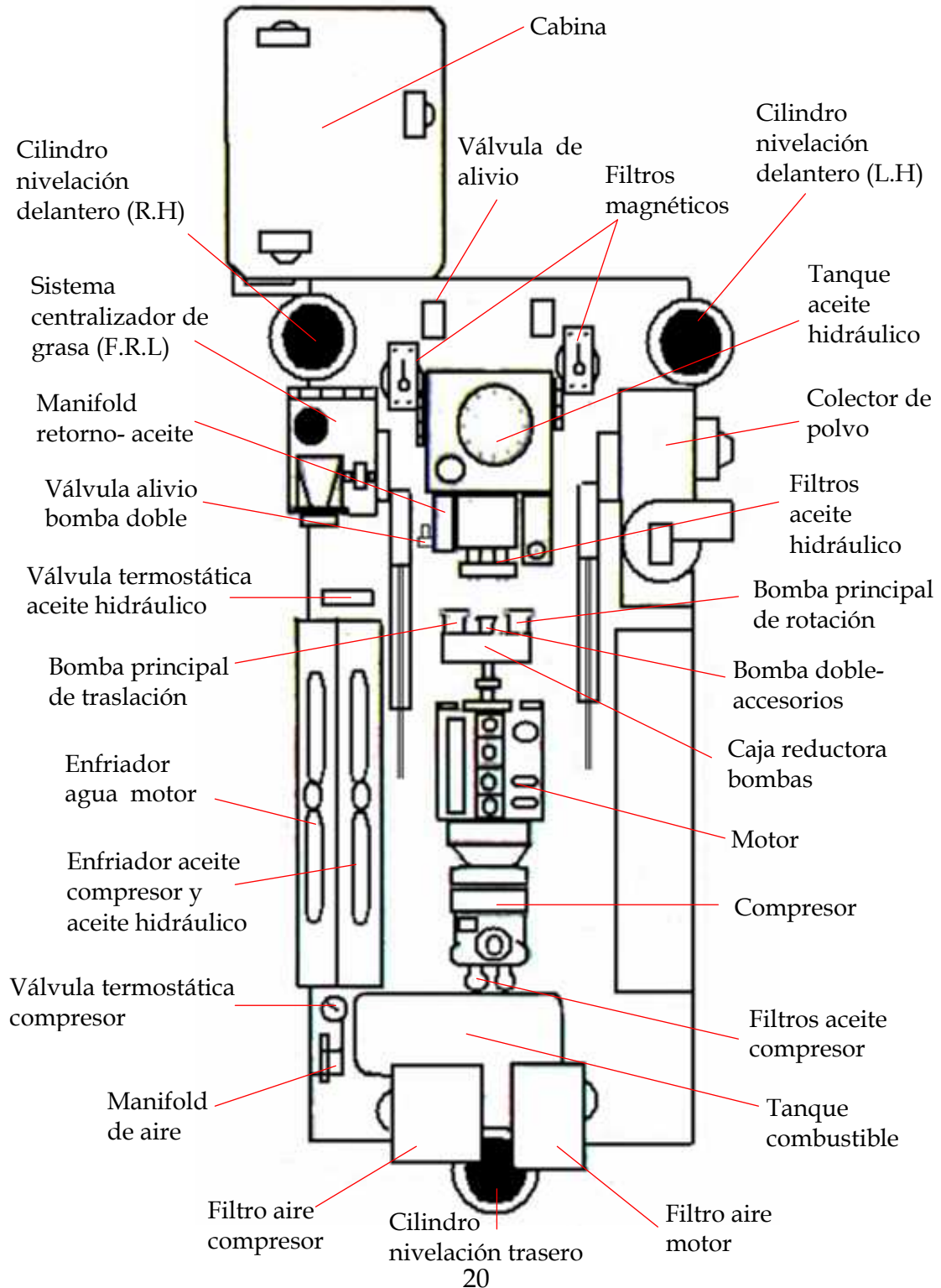


Figura 12. Taladro de voladura DM-45E

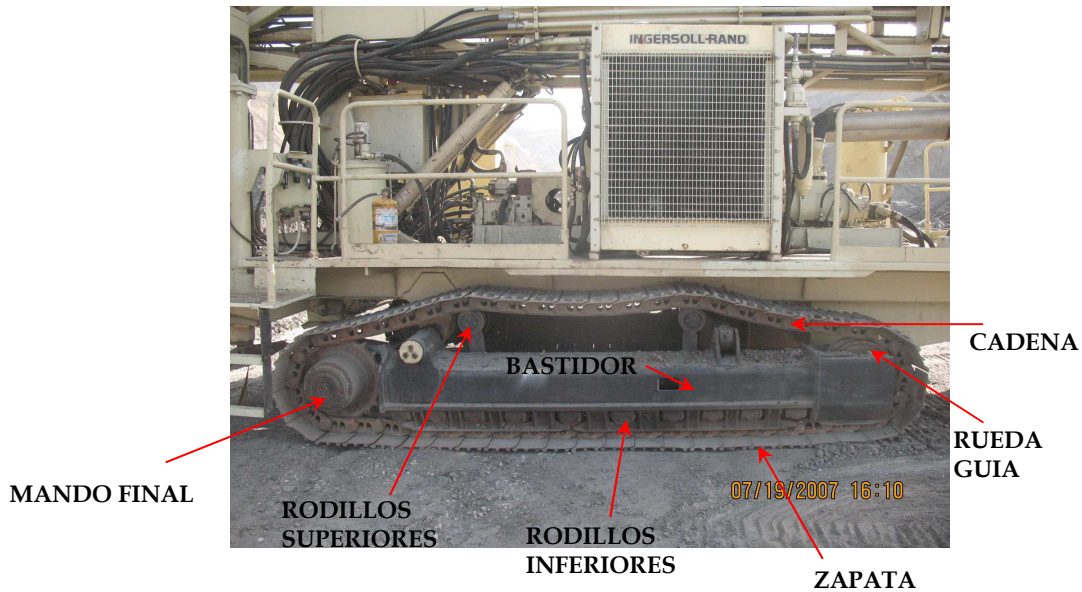


2.1 SISTEMAS DEL TALADRO

2.1.1 Sistema de Propel

El taladro está montado sobre orugas conformado de diez (10) rodillos inferiores, dos superiores, el tren de rodaje tiene una estructura de acero y unas cadenas que son accionadas independientemente por un motor hidráulico de pistones axiales, desplazamiento fijo de 143 HP, el cual se encuentra acoplado a un mando final que posee un juego de piñones planetarios y un freno accionado por resorte y liberado hidráulicamente, este sistema de transmisión se encuentra acoplado directamente, llegando a desarrollar velocidades lineales que oscilan entre 0 y 3.12 Km/hr. Esto está ilustrado en la figura 13.

Figura 13. Sistema Propel



2.1.2 Sistema de Perforación

La rotación sobre el taladro es suministrada por un conjunto de cabezal giratorio. Un motor hidráulico de pistón axial y desplazamiento fijo impulsan la cabeza rotatoria que tiene un rango de velocidad de 0-130 RPM y un torque máximo de 7165 lbs-pies. El operador puede seleccionar infinidad de velocidades de rotación utilizando las bombas y motores que tiene el equipo.

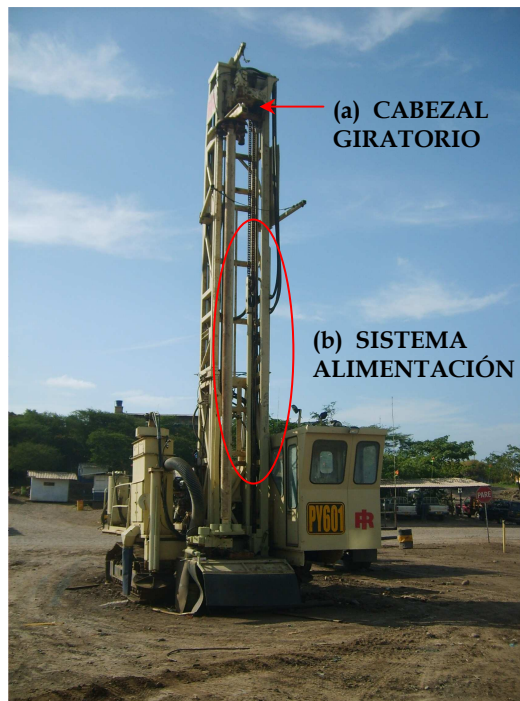
El sistema de alimentación para la perforación consiste de un conjunto de poleas y sprockets los cuales se encuentran conectadas en su parte inferior por guayas y en su parte superior por cadenas y a su vez se encuentra interconectado a través de los vástagos de dos cilindros de alimentación.

El funcionamiento de este sistema es sencillo ya que cuando se aplica el aceite hidráulico hacia cualquier lado del pistón, el vástago del cilindro y el

conjunto superior e inferior de poleas y sprockets se mueven hacia arriba o hacia abajo del mástil.

Un par de cables de acero y cadenas resistentes fijados a la rotaria corren sobre el conjunto de poleas inferiores y sprockets superiores hacia un punto tensionado cerca de la parte media del conjunto del mástil.

Figura 14. Sistema Perforación

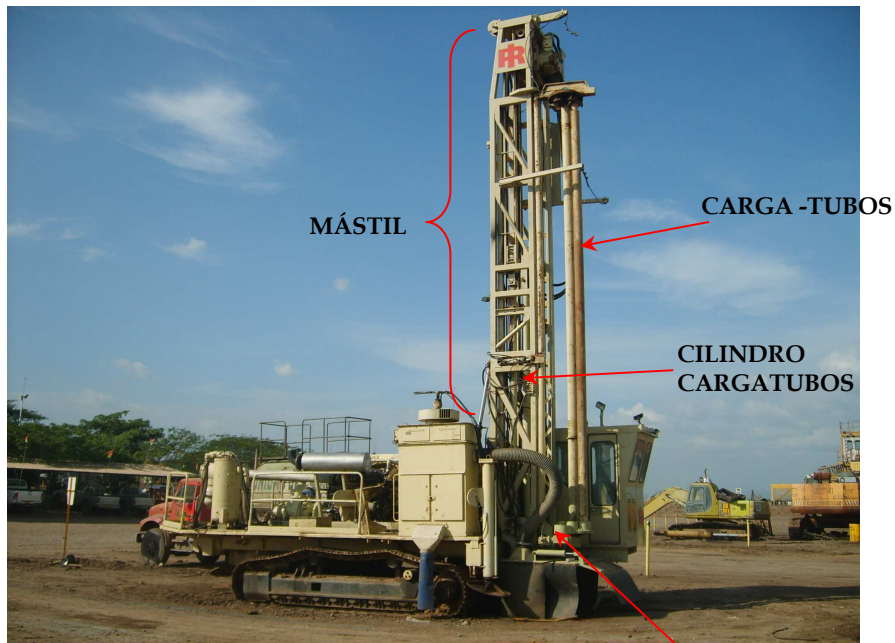


2.1.3 Sistema de accesorios

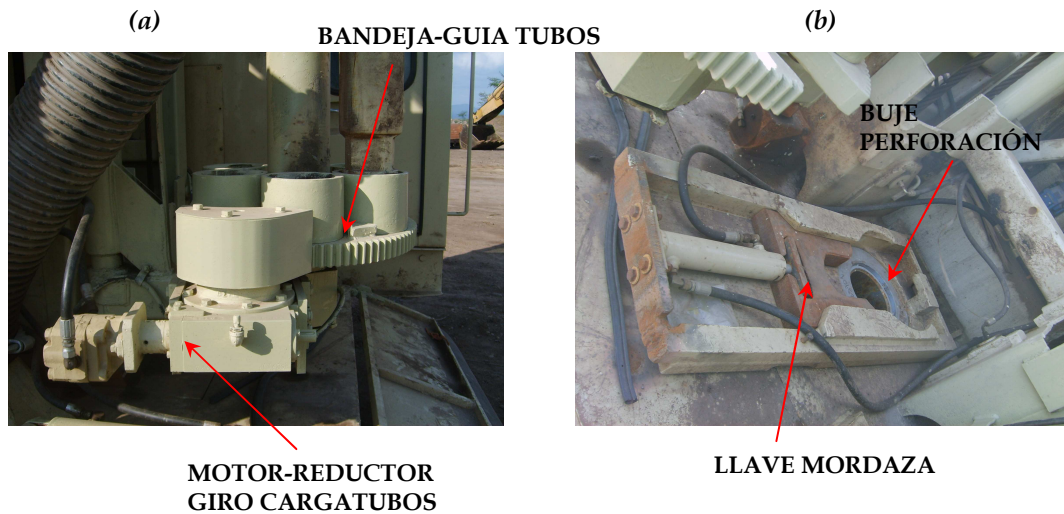
Para realizar el trabajo de perforación el taladro tiene un sistema de accesorios los cuales se deben utilizar de la siguiente manera:

- ❖ El proceso para el cargue de tubos se hace desde la consola del operador. Una llave de mordaza hidráulica se emplea para aflojar la junta roscada entre los tubos aplicando un impacto limitado (Figura 15, b). La fuerza primaria de separación es suministrada por el alto torque en modo de rotación inversa, de tal forma que solo se requiere de un impacto limitado. Esto minimiza cargas de choque sobre el mástil; cargador de tubos y componentes del mástil. Tres tubos adicionales son almacenados en un cargador de tubos tipo carrusel (Figura 15). Un cilindro hidráulico gira el carrusel hacia dentro y fuera de la posición del cargue debajo de la rotaria.

Figura 15. Mástil (Torre de perforación)



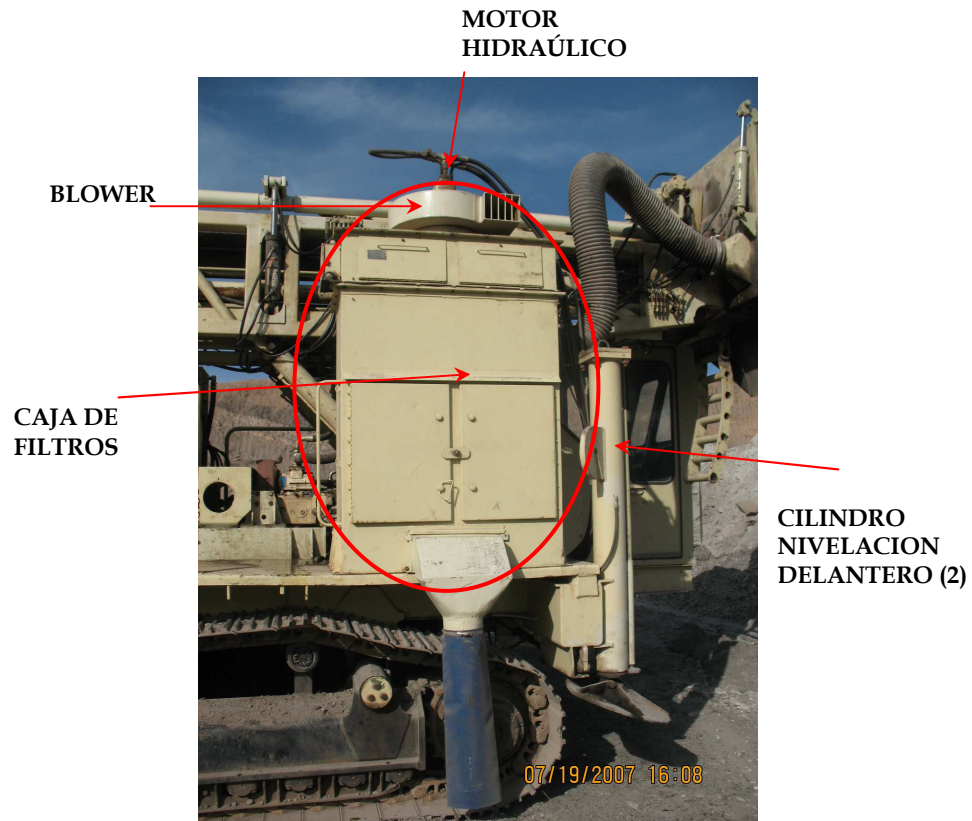
(a.b) PLATAFORMA DE PERFORACIÓN



- ❖ El taladro tiene un pasillo alrededor de los cuatro lados para facilitar el acceso de servicio de mantenimiento, todos los pasillos y área de servicio están encerrados con barandas de seguridad y los pisos construidos con platina antideslizante. Las funciones operacionales pueden ser controladas desde la consola del operador dentro de la cabina. En el tablero de control se encuentran divididos los elementos como medidor de presión, control de regulación de aire ON/OFF, palanca de alimentación, retracción y palancas de control de velocidad. También se proveen palancas para los cilindros de nivelación, posición y giro del cargador de tubo y llave de mordaza. Además, dentro de la cabina se encuentra un control de presurización de 50.000 PSI, que impide la entrada de polvos a la cabina, estos equipos de fábrica cuentan con un sistema de aire acondicionado de 24.000 BTU/HR, con un elemento filtrante de 5 Micras.

- ❖ El sistema de control de polvo se encuentra regido por dos accesorios: El colector de polvo y la bomba de agua (Figura 16).
- ❖ El sistema de colector de polvos tiene una rata volumétrica de 3600 cfm, de configuración rectangular, con cuatro filtros y una manguera da admisión de ocho (8) in.
- ❖ El otro método de control de polvos en el Taladro es la inyección de agua con un volumen de agua de hasta tres (3) gpm, se controla desde la consola del operador, un tanque con capacidad de 100 galones de agua localizado cerca de la cabina del operador y está provista de una mirilla de control con rápido y fácil acceso a la tubería de llenado.

Figura 16. Colector de Polvo



- ❖ Otra característica de este equipo es el sistema centralizado de lubricación el cual permite una inyección automática de grasa a 1600 psi a los diferentes puntos que se mantienen en movimiento relativo entre dos piezas. En el cardan, poleas y sprockets superiores la lubricación se realiza manual cada vez que se inicia un turno.

Figura 17. Sistema Centralizado de lubricación

(a) BOMBA Y TANQUE GRASA



(b) FILTRO REGULADOR LUBRICADOR



2.1.4 Paquete de Potencia

El tren de potencia ilustrado en la figura 18, consiste de un motor diesel modelo KTA19C de 525 HP con un tanque de combustible de 215 Galones protegido con un sistema de SHUTDOWN que incluye apagado del equipo por alta temperatura del refrigerante, baja presión de aceite motor. El motor se encuentra acoplado directamente a un compresor de tornillo (de aire) sobre

un extremo y a una caja de engranajes que mueven las tres bombas, en el otro extremo. El conjunto completo de potencia está montado sobre su propia sub-base la cual a su vez está montada sobre el chasis de la máquina. La sub-base separada aísla los componentes del tren de potencia de la carga de choque de perforación o traslación del taladro y ayuda a mantener el alineamiento. Otros componentes como los enfriadores de aceite hidráulico, el tanque de refrigerante del motor Diesel y del compresor (ATF) están montados sobre el chasis.

La operación del compresor esta controlada por un sistema de regulación tipo ON-OFF desarrollada previamente para ayudar a conservar la potencia del motor y extender la vida del compresor cuando el taladro no requiere que se comprima más aire. El sistema consiste de la tradicional válvula de admisión de aire y es actuada manualmente por un cable de control conectada a un cilindro neumático de acción simple.

Cuando el operador empuja la palanca de control hacia adelante, el resorte dentro del cilindro neumático que está conectado a la válvula de admisión causa que la válvula se abra y se inicie la compresión de aire. En forma contraria, cuando el operador hale la palanca hacia él, esto fuerza a la válvula a la posición cerrada cortando el suministro de aire hacia el compresor manteniendo así la potencia y minimizando el desgaste del compresor durante periodos largos de encendido en tiempo frío o largos trayectos de desplazamiento entre sitios de la mina.

La función principal del cilindro neumático es suministrar una fuerza de control adicional a la válvula de admisión. Esta fuerza actuará automáticamente para cerrar la válvula después que la presión haya alcanzado los 100 PSI y la abre cuando la presión reduzca.

Figura 18. Paquete de Potencia

(a) RADIADOR Y ENFRIADOR HIDRAÚLICO



CILINDRO LEVANTE MASTIL (2)

(b) MOTOR DIESEL



© COMPRESOR

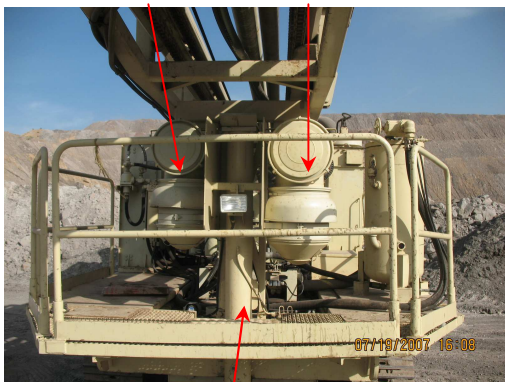


(d) TANQUE Y FILTROS HIDRAÚLICOS



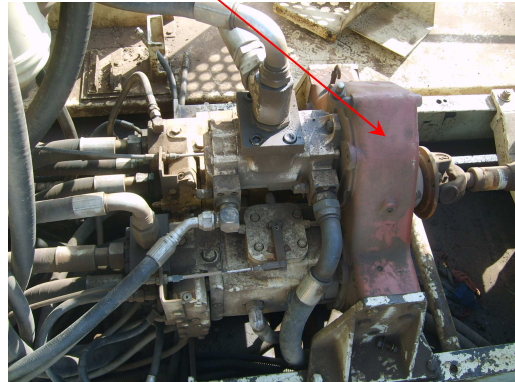
FILTRO COMPRESOR

FILTRO MOTOR



CILINDRO NIVELACION TRASERO

(f) CAJA DE ENGRANAJES (PTO)

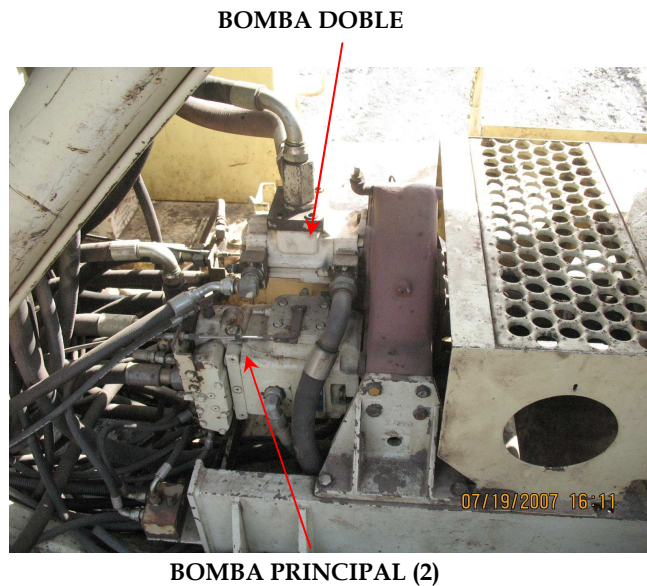


2.1.5 Sistema Hidráulico

El taladro usa una bomba axial de desplazamiento fijo, conectada a la salida superior de la caja de engranajes y realiza las siguientes funciones.

- P1: Potencia los circuitos de los motores de los ventiladores y circuitos auxiliares.
- P2: Potencia la válvula de siete carretes (Sistema de guarda polvos, cilindros de nivelación, accionamiento de la torre, seguro de la torre, llave auxiliar, accionamiento malacate), la válvula de tres carretes (Posicionamiento cargador de tubos)

Figura 19. Sistema Hidráulico



- A la misma caja de engranajes se encuentran acopladas dos bombas de desplazamiento variable de pistones axiales, compensadas por presión con capacidad de 0-54.5 gpm a 2100 rpm, cuya función es: La del lado colector de polvo suministra fluido a los motores de rotación o hace girar el

bastidor lado colector de polvo y la del lado cabina; suministra aceite a los cilindros de feed o al motor del bastidor lado cabina. Esta función depende de la actividad que se vaya a realizar ya sea perforación o propulsión.

El aceite que ya ha trabajado pasa por sus respectivos enfriadores que se encuentran ubicados sobre el lado de la cabina del taladro, manteniendo de esta forma la temperatura segura del aceite.

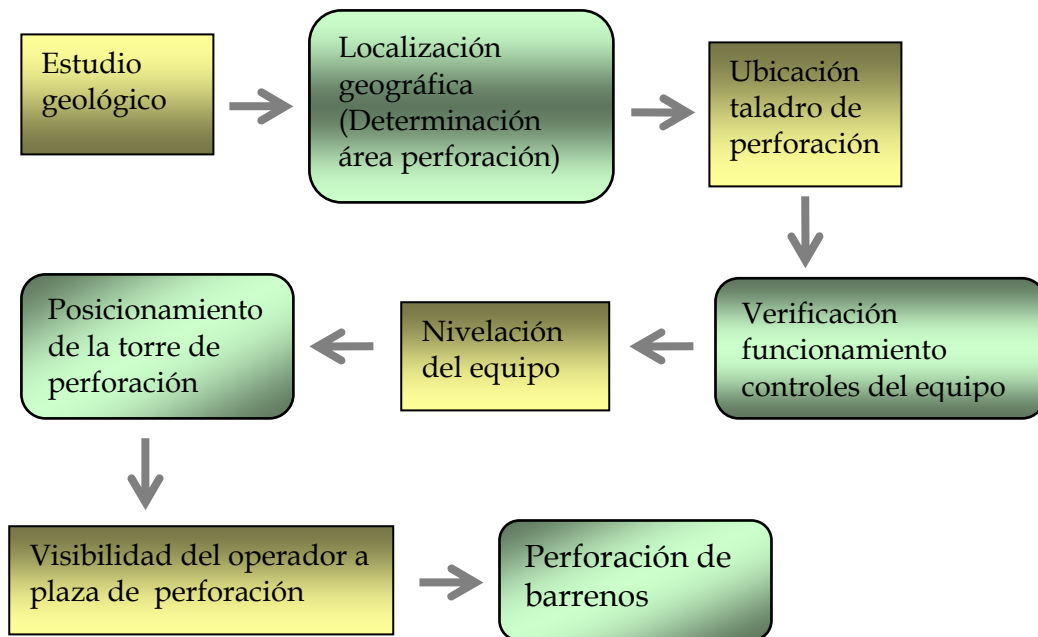
2.1.6 Sistema Eléctrico.

El taladro activa sus componentes a 24voltios, la cual cumple la función de suplir de energía a seis (6) lámparas utilizadas en el proceso de perforación y traslación, también alimenta el sistema de protección del equipo (Sistema Shutdown), así como a la válvula solenoide que acciona la llave de mordaza, alimenta a los motores del aire acondicionado y presurizado de la cabina. Todo este sistema se encuentra protegido por sus respectivos fusibles que tiene un amperaje determinado, 15 Amperios.

2.2 PROCESO DE PERFORACIÓN

“La Caypa” es una mina en operación a tajo abierto, por ésta razón se debe adaptar el taladro de perforación al terreno para realizar una efectiva planeación en los trabajos de perforación de una forma adecuada sin deteriorar el equipo. Los pasos se especifican en la figura 20.

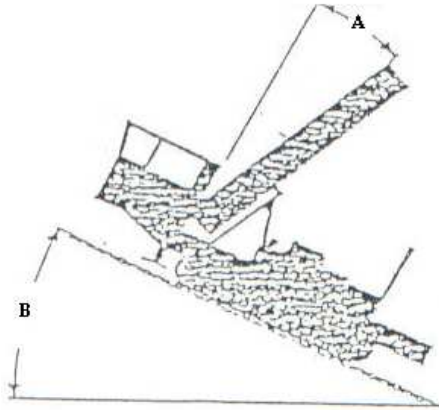
Figura 20. Proceso de perforación



2.2.1 Estado del terreno

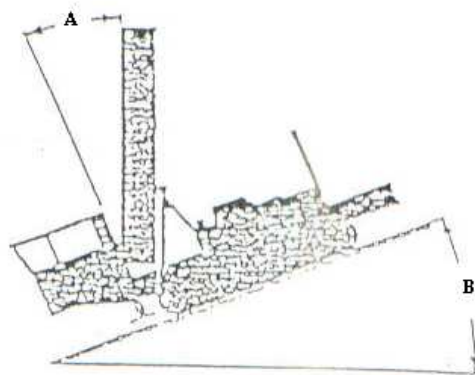
La situación ideal del terreno que se va a perforar, debería ser una zona plana que pueda soportar un peso aproximado de 34.7 toneladas que es el peso del taladro (Sin tubería), pero como todos sabemos en la actualidad en la mina es necesario llevar el taladro a zonas en donde el acceso es restringido y las zonas a perforar mantiene ciertas pendientes (Por el desarrollo minero) que se deben tener en cuenta para evitar volcamientos del perforador. En la figura 21 se muestran las opciones para realizar perforaciones en ángulo.

Figura 21. Perforaciones en ángulo



Carriles sobre la pendiente
Cabina hacia arriba

A TORRE GRADOS	B PENDIENTE GRADOS	Máx. * %
0	35	(70)
5	33	(64,9)
10	31	(60,1)
15	29	(55,4)
20	27	(50,9)
90	21	(38,4)



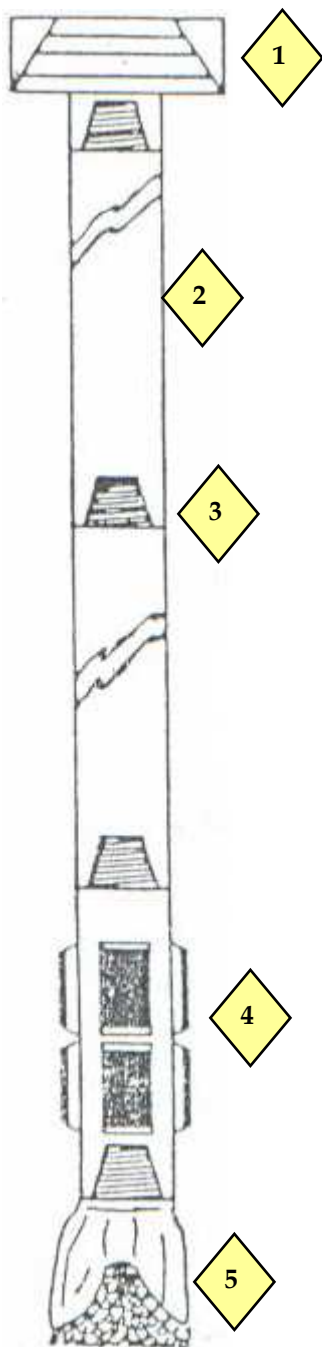
Carriles sobre la pendiente
Cabina hacia abajo

A TORRE GRADOS	B PENDIENTE GRADOS	Máx. * %
0	10	(17,6)
5	12,5	(22,1)
10	15	(26,8)
15	17,5	(31,5)
20	30	(36,4)
90	35	(70)

2.2.2 Herramientas para la perforación de rocas

El objetivo de la energía desarrollada por el equipo es la de transmitirle a la broca una presión de rotación y empuje que le permita romper la roca. El grupo de perforación se muestra en la figura 22.

Figura 22. Grupo de perforación



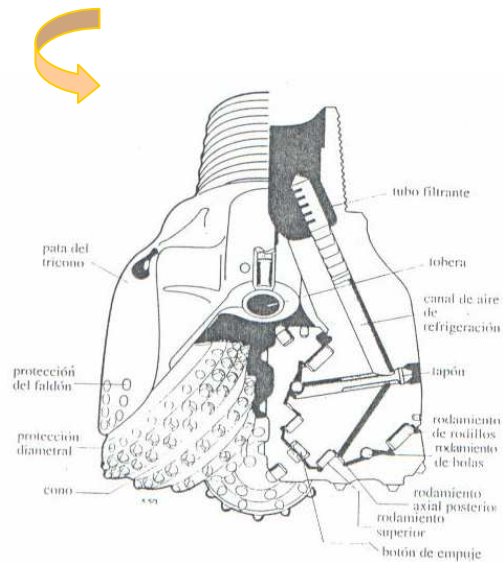
1. TALADRO: Es la fuerza de la operación.

2. LA TUBERÍA: Elemento que le transfiere la fuerza del equipo sobre la broca, está diseñada para soportar cargas de compresión y torsión.

3. ELEMENTOS CONECTORES: Utilizados para acoplar el cabezal rotario al tubo y el tubo a la broca, también se conocen como adaptadores de conexión débil.

4. ESTABILIZADOR: Elemento utilizado para impedir que la broca y rodillos se destruyan prematuramente; por ésta razón se añade a la columna de perforación para reducir el movimiento lateral.

5. BROCA: Es un tricono conformado por: rodillos (cortadores), rodamientos y el cuerpo (pata del tricono). Este elemento realiza el trabajo final de la operación.



2.2.3 Fases para la perforación

Cuando se va a iniciar un proceso de perforación, la broca pasa por varias fases distintivas durante la ejecución de la barrenación. Dichas etapas se catalogan en la tabla 3.

Tabla 3. Fases en la perforación

FASE	PROCESO	RESULTADO
Abrasiva	Primera fase de la falla de la roca, con un bajo pull-down (peso) en la broca y los insertos hacen apenas contacto con el terreno.	Un fino polvo que sale de la operación.
Fatiga	Un incremento de peso (Más pull-down) en la broca, los insertos penetra en la formación rocosa, pero aún no fractura la roca.	Primeros indicios de pequeños fragmentos de roca pero con alto contenido de polvo.
Astillamiento	Una rotación suficiente y con un incremento de peso los insertos de la broca penetran el terreno	Inicio de la perforación.
Penetración	Insertos cargados bajo un peso apropiado que causa la fractura de la roca.	Los pequeños fragmentos son removidos por la circulación de aire, bajo ésta carga la broca obtiene la máxima eficiencia.

2.3 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN PARA EL TALADRO DM45E

La eficiente y segura operación del taladro depende de mantener un riguroso conocimiento y apropiado uso de los sistemas medidores y controles de operación. Todos los controles requieren contacto directo del operador y los

medidores que indican las características de los sistemas durante la operación de perforación están contenidos en la consola de control adentro en la cabina. Los procedimientos para la operación del equipo de perforación se especifican en la tabla 4.

Tabla 4. Procedimiento de operación del taladro

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Inspección pre-operacional	Bastidores	Limpieza (Libre de barro)
	Cadena-tren de rodaje	Verificar deflexión máxima no debe ser superior de 1/2"
	Indicadores filtros de aire	Revisar nivel de polvo, tanto en el motor como compresor.
	Mandos finales y motores de propulsión	Revisar fugas hidráulicas
	Zapatas	Revisar si están sueltas.
	Tubos ciclónicos de los filtros de aire	Limpieza de tapas
	Sistema centralizado de grasa	Verificar nivel del lubricador
	Rotaria	Revisar fugas de aceite
	Sistemas avance de la rotaria.	Revisar deflexión de las cadenas no debe ser superior de 3" respecto a la viga superior del mástil
	Tanque combustible	Verificar fugas
	Tanque separador de ATF	Drenar agua
	Seguro pin del mástil	Verificar su estado; que se encuentre recogido
	Combustible, aceite de motor y compresor, caja de engranajes, hidráulico, grasa.	Verificar los niveles

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Inspección pre-operacional	Puntos escualizables y de articulación de los cilindros y soportes.	Verificar estado de lubricación.
	Accesorios de perforación (Brocas, toberas, tubería)	Verificar su estado (gire libremente los tres rodillos, limpieza, alineación)
	Cauchos plataforma de perforación	Verificar su estado
	Estructura	Inspección visual revisando grietas
Arranque unidad de potencia	Motor diesel, compresor, rotatoria, bombas	Inspección niveles de lubricantes
	Palancas, switch, etc.	Realizar los respectivos movimientos
	Indicadores consola de control	Deben leerse cero, posición de apagado, neutro o mínimo flujo
	Switch de ignición	Girar llave a la posición "Encendido"
	Bomba de "cebado"	Si el motor ha estado sin uso un tiempo prolongado, oprima el botón bomba de cebado para que ésta deje de emitir sonidos de ruido.
	Motor Diesel	Para dar arranque oprima simultáneamente el switch de paso alterno de combustible con el switch de arranque.
	Switch de arranque	Mantener oprimido hasta que enlace las RPM adecuada para vencer la inercia (aprox. 750 RPM)
Switch paso alterno	Mantener presionado hasta que el motor alcance una presión de aceite superior a 10 psi.	

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Arranque unidad de potencia	Motor diesel	Permitir que se caliente acelerando a 1050 RPM, con una temp. de agua entre 160-185 F.
		Después de calentar, incrementar su velocidad a plena carga de (2200 RPM) halando el acelerador hacia fuera y luego girar la leva en sentido antihorario para anchar la guaya de control
	Tanque separador de aceite del compresor	Verificar mirilla de nivel que muestre una lectura entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ del diámetro del indicador.
Propulsión	Válvula perforación/propulsión	Comandar la palanca a la posición de propulsión para liberar el freno de los bastidores.
	Palancas marcadas como oruga derecha y oruga derecha	Realizar los movimientos lineales para controlar la capacidad y dirección de cada oruga; si las palancas se desplazan hacia arriba uniformemente, el equipo irá hacia delante y en reversa si se halan hacia el operador.
		Para obtener radios de giro controlados, se debe sostener una palanca y la otra moverla suavemente adelante o atrás.
Perforación	Palancas cilindros de nivelación (Mirilla o indicador de nivel)	Operar independientemente los cilindros frontales para obtener una posición de nivelación lateral.
		Operar cilindro trasero para obtener una nivelación frontal y trasera

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Perforación	Torre de perforación (Mástil)	Antes de levantar, cerciorarse que el seguro del mástil se encuentre recogido
		Levantar hacia la posición vertical, moviendo la palanca de control de la válvula de "levante de mástil" hacia abajo.
		Sostener la válvula de control del mástil (Centrada por resorte) a medida que el mástil asienta contra el soporte.
		Centrar la válvula de control cuando el mástil esté vertical.
		Mover palanca de la válvula de control para seguro del mástil hacia la posición de "Bloqueado" (La lámpara lado derecho de la consola se enciende). Esto asegura al mástil a la estructura del soporte.
	Mover la palanca de control de la válvula selectora de "perforación/propel", hacia la posición de perforar.	
	Cargador de tubos	Mover debajo de la rotaria, usando la palanca de control de la válvula de "giro del cargador de tubos" Si hay tubos de perforación en la rotaria.
Tubo de perforación	Presionar directamente al acople, usando la palanca de control de la válvula de "giro del carrusel".	

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Perforación	Rotaria (cabezal giratorio)	Rotarla suavemente halando hacia el operador la palanca de control de la válvula de "rotación".
		Bajarla suavemente con la válvula de "alimentación" y enroscar el tubo
		Suspender la rotación cuando el manómetro de rotación indique 2800 psi, luego retornar la rotaria al tope superior del mástil.
	Buje de perforación	Introducirlo sobre la plataforma aplicando rotación y empuje a la barra de perforación.
	Broca	Instalar
		Aplicarle aire, bajando la palanca de la válvula mariposa, con baja rotación (Activa ¼ de recorrido total) y girar en sentido horario la válvula de presión para empezar a bajar la tubería para la perforación.
		Para su protección, mantener baja RPM y pull-down, hasta que haya penetrado en su totalidad, activar en forma gradual la válvula de rotación y feed hasta llegar sus topes.
Supervisar la presión de aire (50 psi) y la de rotación (1800 psi), un incremento en la presión del aire y pérdida de circulación de partículas indica que la broca esta atascada.		

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Perforación	Tubos de perforación	Después de completar el primer tubo desengancharlo, retornando la válvula de alimentación en neutro y girando antihorario la válvula de control de presión del cerebro de la bomba de empuje.
		Mientras rota lentamente, izar el tubo hasta que la ranura del mismo esté alineada con la guía de la llave de mordaza.
		Detener la rotación y enganchar la ranura del tubo con la llave de mordaza accionando el switch de control en la llave de mordaza hacia “abajo”.
	Rotaria (cabezal giratorio)	Cortar el suministro de aire hacia la broca y disminuir la rotación para desacoplar la junta entre el conector y el tubo.
		Levantarla lentamente a medida que la junta afloja, detener el levantamiento y engrasar el substituto
		Moverla hacia el tope superior del mástil.
		Adicionar otro tubo a la rotaria, retirar el carga tubos, acoplar el tubo sostenido por llave de mordaza, activar el switch de la llave de mordaza hacia arriba y levantar lentamente la rotaria.

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Perforación	Rotaria (Cabezal giratorio)	Después de alcanzar la profundidad deseada, levantar la rotaria tal que la llave de mordaza pueda alcanzar las ranuras de la segunda junta de la tubería desde la rotaria.
		Levantarla y girar el carrusel para alinear la copa con el tubo que esta sujeto a la rotaria.
		Usando la rotación inversa desenrosque la junta entre el tubo y la rotaria.
		Levantarla para despegar el carga tubos, mover carrusel hacia fuera y bajar rotaria para tomar el próximo tubo, maniobrar la llave de mordaza y aplicar rotación baja para continuar el ascenso del tubo hasta sacar la broca del agujero.
	Cilindros de nivelación	Si la plaza de perforación esta plana se procede a bajar el cilindro de nivelación con el fin de apoyar el equipo sobre orugas.
		Si el terreno es muy quebrado y con inclinación, se recomienda acostar la torre, apoyar la máquina sobre bastidores y posteriormente desplazarla.

OPERACIÓN	PROCEDIMIENTO	
	COMPONENTE	ACTIVIDAD
Apagado unidad de potencia	Controles	Colocarlos en su posición neutral o mínimo flujo, incluyendo la válvula del aire.
	Válvulas de servicio	Cerrarlas.
	Motor diesel	Desacelerar con el control "acelerador" a 1050 RPM, dejando ésta velocidad hasta que el motor se haya enfriado.
	Switch de ignición	Girarlo a la posición apagado. El aire a presión del tanque separador se desfoga automáticamente.
	Manómetros de presión de aire.	Revisarlos para asegurar que está despresurizado el sistema. Si hay se debe purgar el sistema abriendo la válvula manual de desfogue.

2.3.1 Operaciones generales.

- ❖ El freno de parqueo deberá estar siempre aplicado al menos que la unidad vaya a ser pulsada. El freno es aplicado al colocar la palanca de control PERFORACIÓN/PROPULSIÓN en la posición perforación.
- ❖ La cortina de guardapolvo deberá estar levantada mientras se esta propulsando.
- ❖ Siempre se debe mantener un control estricto en los indicadores que se encuentran en la consola, en especial a los que marcan la presión de aire y presión de rotación de la broca, en el momento que se esta perforando.

- ❖ El switch de la llave de mordaza se debe activar hacia arriba o abajo dependiendo si la rotaria se va a levantar o a bajar en el momento de acoplar o soltar un tubo, ya que si el switch se deja en una sola posición para realizar los dos movimientos del tubo se puede doblar el vástago del cilindro.
- ❖ En el CARGADOR DE TUBOS solo se deben transportar los tubos necesarios para perforar los metros requeridos por el departamento de producción, evitándose con esto disminuir la vida útil de los sellos de los cilindros de levante de la torre lado colector y además disminuir las posibles grietas que se presentan en la viga que soporta el cargador en el momento de desplazar la máquina un trayecto largo (Se debe hacer con el mástil acostado).
- ❖ Levantar o bajar el mástil, así como el pivotamiento del soporte del mismo, solamente deberá hacerse con la unidad nivelada, lado a lado y dentro de los límites posibles de inclinación.
- ❖ El pin horizontal de bloqueo de mástil SIEMPRE deberá estar enganchado excepto cuando el mástil está horizontal o durante el levante o bajada del mismo.
- ❖ El mástil no debe ser bajado si el ángulo hecho entre la parte posterior del mismo y el horizonte es mayor que 92 grados.

2.3.2 Observaciones operacionales

- ❖ No operar el motor de arranque por más de 30 segundos, si este es operado durante 30 segundos y el motor no arranca, deje enfriar el motor de arranque por dos minutos antes de arrancar de nuevo.
- ❖ Cuando este arrancando después de un cambio de aceite, deje funcionando el motor diesel brevemente, entonces apagar y espere 10

minutos para permitir que el aceite retorne al cárter, luego mida el nivel de aceite.

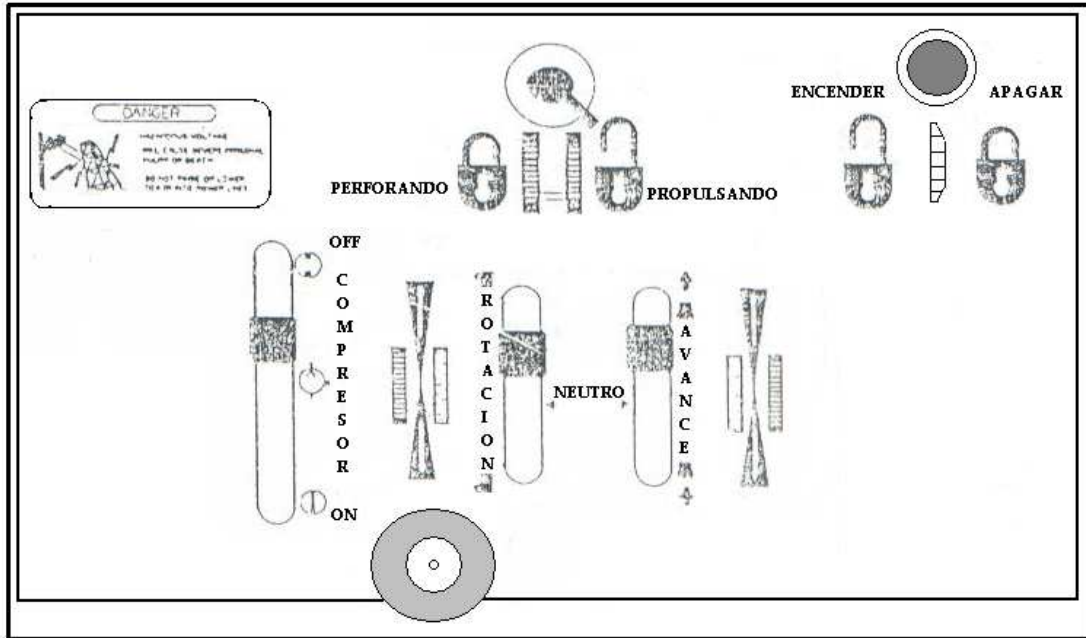
- ❖ Además del arranque y la aceleración durante el calentamiento el motor siempre deberá girar a plena carga (2200 RPM) antes de colocar en funcionamiento cualquier operación de perforación o propulsión.

En la figura 23, se ilustran los controles de la consola del operador, especificando las funciones del taladro, válvulas de 3 y 9 spool.

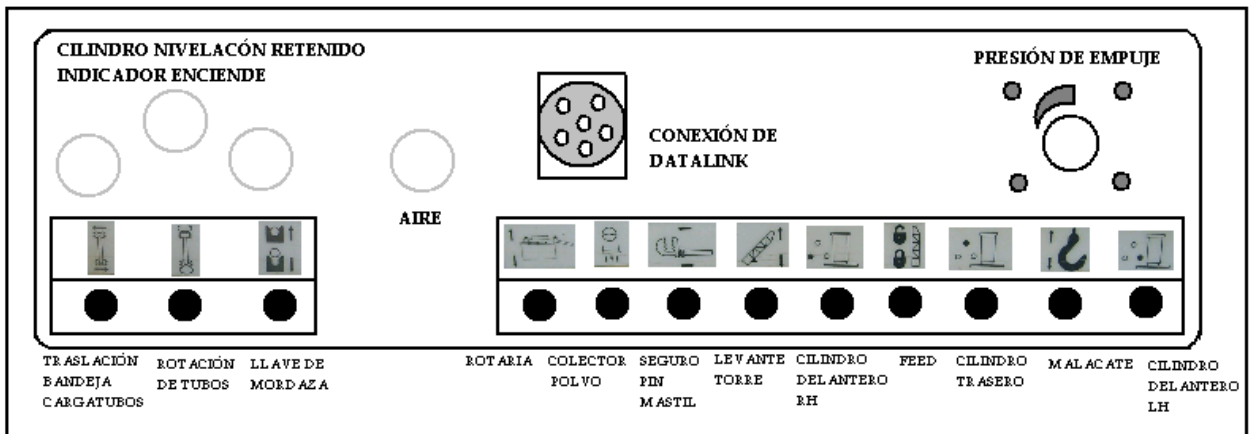
Figura 23. Controles taladro de perforación



A Funciones del taladro



B Válvulas de 3 y 9 spool



3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

3.1 HISTORIA DEL RCM

Al final de 1950, la aviación comercial en el mundo estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues, si actualmente se estuviera presentando la misma tasa, éste sería dos accidentes aéreos diariamente en el mundo. Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de 1950 eran causados por fallas en los equipos. El hecho de que una cifra tan alta de accidentes fuera provocado por fallas en los equipos implicaba que al menos inicialmente, tenía que hacerse énfasis en la seguridad de los equipos.

Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se deterioraran después de cierto tiempo. Esto condujo a creer que las reparaciones periódicas impedirían que las piezas se gastaran y así prevenir fallas. En esos días, mantenimiento significaba hacer reparaciones periódicas. Cuando la idea no parecía estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando tardíamente las reparaciones; después que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban.

De esta manera RCM tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue realizado por la industria de la Aviación Civil

Norteamericana y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento no eran solo costosas si no también altamente peligrosas. Ello inspiró a la industria evaluar una serie de “Grupos de Dirección de Mantenimiento” (**Maintenance Steering Groups - MSG**) para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener todos sus aviones funcionando. Estos grupos estaban formados por representantes de los fabricantes de aviones, las aerolíneas y la FAA (Fuerza Aérea Americana).

La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial ha pasado por un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar” es la historia RCM.

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. De éstos procesos, el RCM es el más efectivo.

A mediados de 1970, el gobierno norteamericano quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves, y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon “**RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE**” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aun sigue siendo uno de los documentos mas importantes en la historia del manejo de los activos físicos. Esta disponible en el servicio de informática técnica nacional del gobierno de Norteamérica, en Springfield, Virginia.

“El informe desarrollado por Nowlan y Heap representó un avance en la filosofía MSG-2 y fue usado como base para el MSG-3, el cual fue difundido en 1980 como: Documento para la Planeación del Programa de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG-3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), éste ha sido revisado tres veces, la primera vez en 1988, de nuevo en 1993, y la tercera en el 2001. Hasta el presente es usado para desarrollar programas de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevos tipos de aeronaves (incluyendo recientemente el Boeing 777 y el Airbus 330/340).”¹

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos aprendió que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y buscó beneficiarse de esta experiencia. Una vez que el Departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el ejército Americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: Uno para el ejército, uno para la fuerza aérea, y otro para la armada.

Otra aplicación del RCM se dio a principios de 1980, el instituto para la averiguación de la energía eléctrica, (EPRI por sus siglas en ingles), un grupo de investigación comercial para las compañías generadoras de energía en norteamericana realizó dos pruebas de RCM en la industria de la energía nuclear americana. Su curiosidad se dio debido a la creencia de que esta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero se hacia demasiado mantenimiento a sus equipos. Esto significaba que su principal propósito era reducir costos de mantenimiento en vez de mejorar

¹ Copias de MSG 3.2001 se encuentran en Air Transport Association, Washington, DC.

la confiabilidad, y el proceso RCM era modificado consecuentemente. (Ellos modificaron tanto el proceso RCM, que su parecido es poco con el original descrito por Nowlan y Heap, y debería ser descrito más correctamente como la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO- por sus siglas en inglés) más que como RCM. Este proceso modificado fue adoptado sobre una base amplia por la industria de la energía nuclear Americana en 1987, y se implementaron variaciones de su enfoque por otras compañías de energía, alguna otra rama de la generación eléctrica, distribución industrial y la industria petrolera.

En la década de 1990 el concepto RCM se hizo mas popular y empezaron a aparecer varias metodologías de mantenimiento que sus autores llamaban RCM, pero estos métodos eran muy distantes al originalmente propuesto, así que surgió la necesidad de sacar una normatividad que definiera cuando una metodología podía llamarse RCM.

En 1996 la SAE empezó a trabajar en un modelo afín con el RCM, invitando a un grupo de representantes de la aviación, de la armada estadounidense y comunidades de naves para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento planeados. Estos representantes de la armada se habían estado reuniendo previamente, por cerca de un año, para desarrollar un proceso RCM que pudiera ser común a la aviación y los buques. Es así como ellos previamente habían hecho una considerable cantidad de trabajo antes de empezar a reunirse bajo el auspicio de la SAE.

A finales de 1997, se unió a este grupo un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria. En esta ocasión, se dieron cuenta de que era mejor enfocarse enteramente en el RCM. Entonces el grupo

encontró un mejor enfoque para esta norma en 1999, presentándola a la SAE para ser sometida a votación.

“La norma aprobada por la SAE”² no representa un proceso RCM estándar, su título es “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimientos Centrado en la Confiabilidad (RCM)”, si los criterios no lo satisfacen, no debería llamarse “Proceso RCM”, esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplen con la norma SAE no sean procesos RCM válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos.

3.2 DEFINICIONES DE RCM

RCM según la SAE: “Es un proceso específico usado para identificar políticas, las cuales tienen que ser implementadas para manejar modos de fallas los cuales pueden causar la pérdida de la función de cualquier activo físico en el contexto operacional dado”.²

Existen otras definiciones de RCM como las que da John Moubrey: “El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional”.³

² “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)”, (SAE JAE1011), Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, USA.

³ MOUBRAY, Jhon; Industril Press Inc. Reliability Centered Maintenance. RCMII. New York, 1997. P.4

Otra definición escrita por Anthony R. Smith es: “Una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas del mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de falla de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones”.⁴

3.3 EVOLUCIÓN HACIA RCM

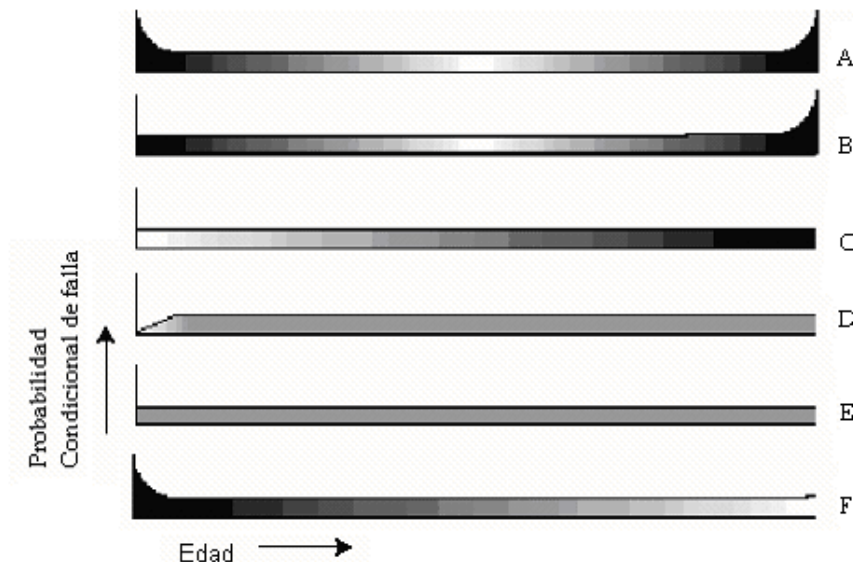
En los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad. Antes de que surgiera el RCM se tenían muchos pensamientos en cuanto a la administración del mantenimiento. En la tabla 5 se observa como se ha evolucionado con el nuevo sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

⁴ SMITH, Anthony. Reliability Centered Maintenance, citado por VALENCIA, Guillermo. Plan piloto MCC como herramienta que ayuda a garantizar los indicadores de calidad marcados por la regulación Colombiana. Medellín, 2001. p.13

Tabla 5. Acciones del RCM.

ACCIONES MANTENIMIENTO TRADICIONAL	ACCIONES CON RCM
Mantenimiento para conservar los equipos en buen estado.	Mantenimiento para conservar las funciones de los activos físicos.
Mantenimiento rutinario para prevenir la falla.	Mantenimiento rutinario para evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
El objetivo del mantenimiento era optimizar la disponibilidad de la planta a un costo bajo.	Su objetivo no es solo optimizar la disponibilidad de la planta, sino también aumentar la seguridad, la integridad ambiental, la calidad de los productos y el servicio al cliente.
La mayoría de los equipos tienden a fallar a medida que envejecen.	Se presentan modelos de fallas de los equipos determinados por curvas de probabilidad de falla contra la vida útil. (Figura 24)
Los tres tipos de mantenimiento convencional son: Predictivo, Preventivo, Correctivo.	Con la nueva estrategia de mantenimiento se adiciona el tipo detectivo.

Figura 24. Nuevos Modelos de Falla.



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCMII. New York: SOPORTE y CIA LTDA, 1997. p. 7.

El modelo A es la conocida “Curva de la bañera”. Comienza con una alta incidencia de la falla (conocida como mortalidad infantil o desgaste de funcionamiento) seguida por una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o que es constante, y luego por una zona de desgaste.

El modelo B muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste.

El modelo C muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.

El modelo D muestra una probabilidad de falla bajo cuando el componente es nuevo o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.

El modelo E muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla aleatoria).

El modelo F comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que aumenta despacio o que es constante.

Los estudios hechos en el aviación civil demostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el modelo F. En general, los modelos de las fallas dependen de la complejidad de los elementos. (El número de veces que ocurren estos modelos en la aviación no es

necesariamente el mismo que en la industria). Pero no hay duda de que cuanto más complejo sean los equipos más veces se encontrarán los modelos de falla E y F.)

Estos resultados contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad operacional. Fue esta creencia la que llevó a la idea de que cuanto más a menudo se revisaba una pieza, menor era la probabilidad de falla. Hoy en día, esto raramente es verdad. A no ser que haya un modo de falla dominante, los límites de edad no hacen nada o muy poco para mejorar la confiabilidad de un equipo complejo. De hecho las revisiones programadas pueden aumentar la frecuencia de las fallas en general por medio de la introducción de la mortalidad infantil dentro de sistemas que de otra forma serían estables.

3.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA METODOLOGÍA RCM.

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, necesitamos saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión RCM. En la tabla 6 se muestran las fases que se utilizan para aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad.

Tabla 6. Fases para aplicar RCM.

FASES	METODOLOGÍA
I	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Análisis de la planta para RCM ❖ Análisis de Criticidad
II PASOS DEL RCM	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Definición del Equipo o Sistema ❖ Definición de Funciones del Equipo ❖ Descripción de las Fallas Funcionales ❖ Descripción de los Modos de Falla ❖ Descripción de Efectos de Falla </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Aplicación Lógica de RCM: Metodología para elegir las acciones más apropiadas de mantenimiento y las frecuencias de aplicación </div>
III	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Documentación del programa de mantenimiento: Enfocado en la operación del Equipo o Sistema
IV	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aplicación de RCM (Equipo de trabajo, recursos materiales, físicos, tecnológicos) <p><i>Nota: Ver capítulo 5, Diagrama de Proceso Aplicar RCM.</i></p>

3.5 ANÁLISIS DE LA PLANTA PARA RCM

Éste análisis se fundamenta en recopilar una lista completa de la planta y sus equipos, para así, desarrollar sistemas lógicos de numeración antes de acometer la evaluación de los requisitos de mantenimiento y determinar los recursos que se necesitan. Esta lista constituye también los cimientos de los

sistemas de información de gestión utilizados para evaluar el rendimiento de los equipos y los costos de mantenimiento. Esto se describe en detalle en el capítulo 4.

3.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridad de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos como se muestra en la figura 25.

Figura 25. Aspectos de la Confiabilidad Operacional



Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002

Una tarea de RCM es mejorar estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Que criterio se debe utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio? El Análisis de Criticidad da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos ó elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

3.6.1 Objetivos del Análisis de Criticidad

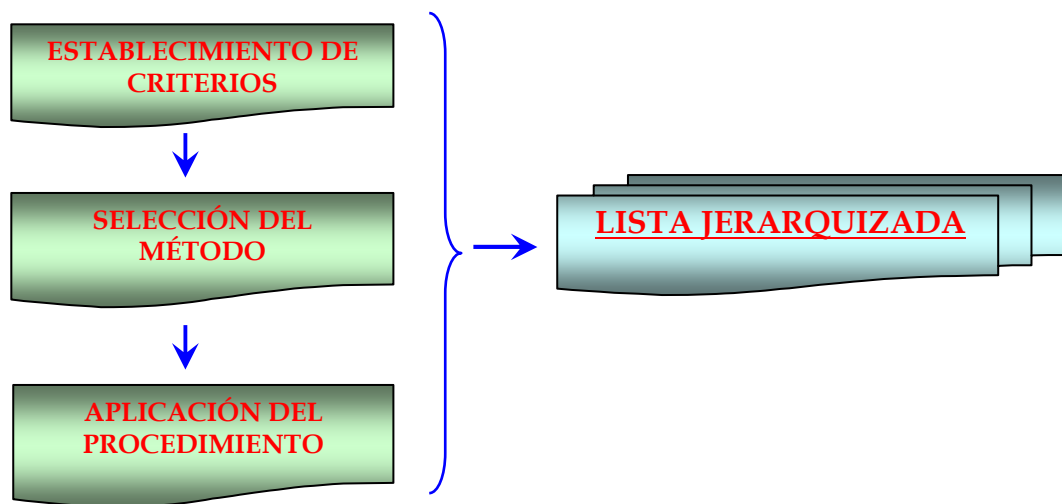
El objetivo principal de éste análisis es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos,

sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para:

- ♦ Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- ♦ Priorizar proyectos de inversión.
- ♦ Diseñar políticas de mantenimiento.
- ♦ Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- ♦ Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

Un modelo básico de Análisis de Criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 26. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

Figura 26. Modelo Básico de Criticidad



Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- ♦ **En el ámbito de mantenimiento.** Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.
- ♦ **En el ámbito de Inspección.** El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.
- ♦ **En el ámbito de materiales.** La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, se puede minimizar el stock de materiales y

repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

- ♦ **En el ámbito de disponibilidad de planta.** Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.
- ♦ **A nivel del personal.** Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

3.6.2 Pasos para la aplicación del Análisis de Criticidad

3.6.2.1 Identificación de los equipos a estudiar. Se seleccionan los equipos más importantes dentro del proceso de producción, bajo la supervisión de ingenieros de producción y mantenimiento. Un ejemplo para realizar el listado de equipos a estudiar se muestra en la figura 27.

Figura 27. Listado de equipos a estudiar dentro del Análisis de Criticidad

SERVICIOS GENERALES	
Circuito de vapor	Gasómetro
Circuito de gas	Precipitador electrostático
MANEJO DE CARBÓN	
Transportadores de banda	Malacate para tracción de vagones
Distribuidor oscilante	Molino de rodillos
BATERÍA DE 57 HORNOS	
Sistema de calentamiento	Circuito de enfriamiento

3.6.2.2 Definición del alcance y objetivo del estudio. Esta herramienta se hace vital a la hora de priorizar órdenes de trabajo y proyectos de inversión. La elaboración del estudio de Análisis de Criticidad se realiza a partir de un formato de encuesta que permite recoger la información de parte de los ingenieros, técnicos y operarios de la planta.

3.6.2.3 Selección del personal a entrevistar. El grupo de personas involucradas en este estudio esta conformado por: El director de mantenimiento, Jefes de áreas, Supervisores de área, Ingenieros de producción, operadores, mecánicos y electricistas.

3.6.2.4 Recolección de datos. La recolección de la información se realiza a partir de las encuestas contestadas por ingenieros, técnicos y operarios de la planta.

La ecuación de criticidad vista desde un punto matemático que se utiliza para el análisis de criticidad se presenta en la figura 28.

Figura 28. Ecuación de criticidad

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia
Frecuencia = Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas/año)
Consecuencia = a+b; siendo
a = Impacto operacional x flexibilidad operacional
b = Costo de mantenimiento + Impacto en Seguridad ambiente e higiene (SAH)

En la tabla 7 se muestran los criterios de evaluación de criticidades. Cada pregunta tiene una serie de respuestas con una ponderación diferente, esta ponderación se presenta y se asigna un valor específico a cada ítem o parámetro dependiendo de las características del equipo a evaluar.

Tabla 7. Criterios de evaluación de criticidades

FRECUENCIA DE FALLAS		FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
1 Falla máx. por día	4	No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
1 Falla máx. por semana	3	Hay opción de repuesto compartido/ almacén	2
1 Falla máx. por trimestre	2	Función de repuesto disponible	1
Menos de 1 falla / año	1		
IMPACTO OPERACIONAL		IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE HIGIENE (SAH)	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente / instalaciones	7
Impacto en niveles de inventario o calidad	4	Afecta instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre la operación y producción	1	Provoca daños menores (SA)	3
COSTOS DE MANTENIMIENTO		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones, ambiente	1
Mayor o igual a U\$ 15000	2		
Inferior a U\$ 15000	1		

Los criterios o parámetros que se utilizan para la elaboración de las encuestas, las tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas son:

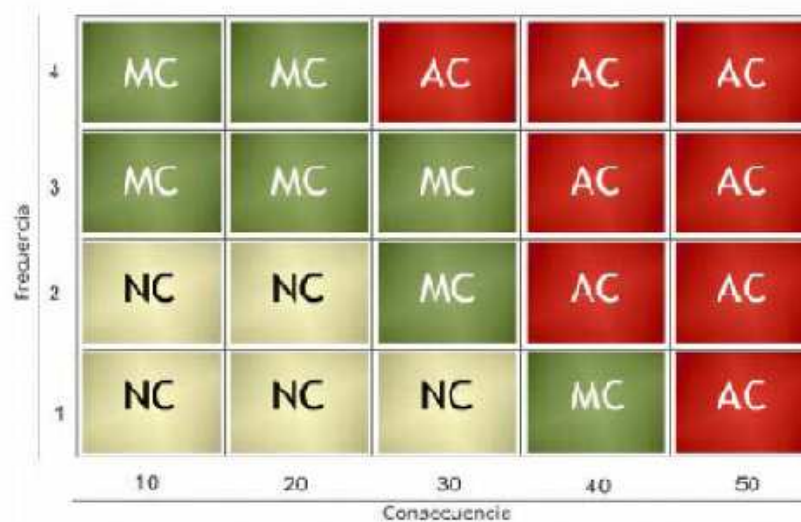
- **Frecuencia de fallas.** Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada en un período de un año.
- **Impacto operacional.** Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
- **Costo de mantenimiento.** Costos de materiales, repuestos y mano de obra. La información que se requiere para obtener los valores de ponderación se encuentra registrada en las tarjetas de costos de los diferentes equipos.
- **Flexibilidad operacional.** En caso de falla que opción producción de puede llevar a cabo, además del grado de disponibilidad de repuesto para atender la emergencia de la falla causante de la pérdida de función.
- **Impacto en seguridad.** Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, instalaciones y otros equipos.
- **Impacto ambiental.** Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente

La evaluación realizada a cada sistema se registra en el formato dado en el capítulo 4, donde se busca dar un valor que corresponda a la realidad actual

de cada uno de los sistemas a analizar, teniendo en cuenta las observaciones que hagan los integrantes del equipo de trabajo.

3.6.2.5 Resultados del estudio. El siguiente paso a desarrollar es ubicar los resultados en la Matriz de Criticidad y ordenarlos de mayor a menor grado de criticidad los sistemas analizados en la lista jerarquizada, como se muestra en la figura 29.

Figura 29. Matriz de Criticidad



Los sistemas se clasifican en:

NC = No críticos; MC = Mediana criticidad; AC = Alta criticidad

a. Lista Jerarquizada

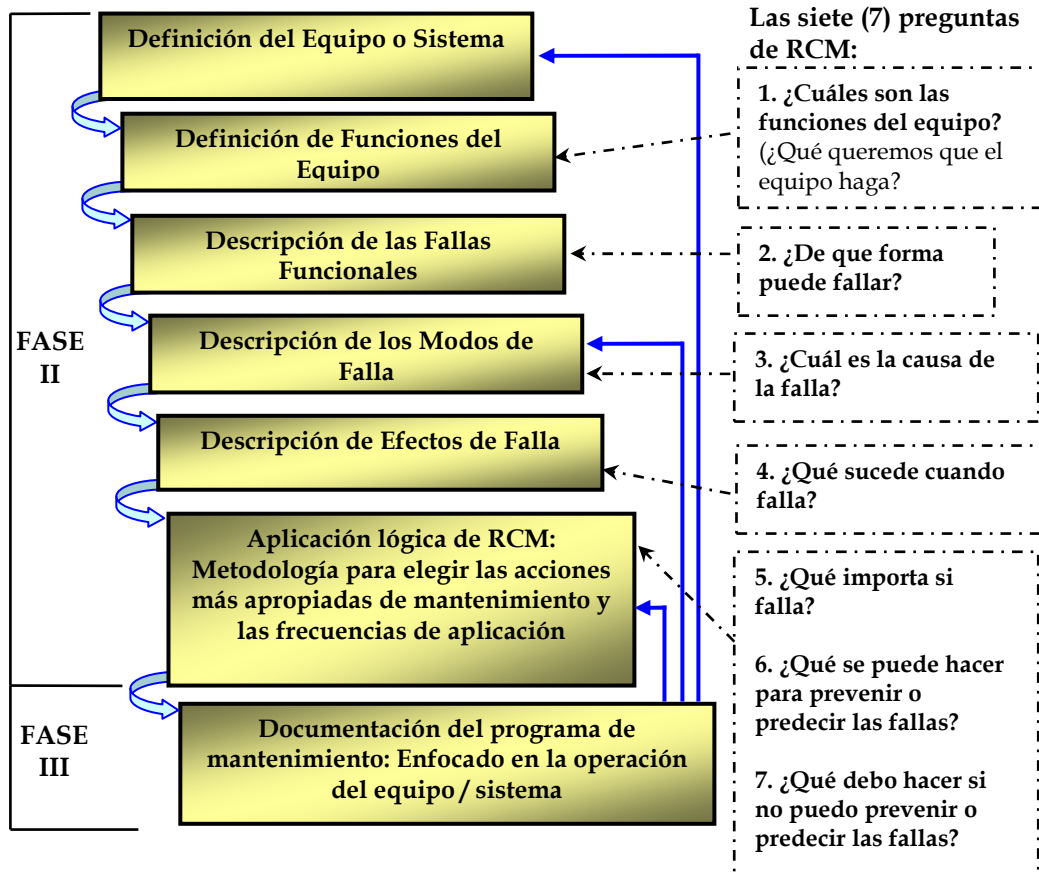
Sistema	Criticidad Total
Molino de rodillos	50
Circuito de vapor	90
Sistema de Calentamiento	87
Distribuidor oscilante	75
Circuito de enfriamiento	38
Transportadores de banda	26

- Sistema Crítico
- Sistema Medianamente Crítico
- Sistema No Crítico

3.7 PASOS DEL RCM

En una reciente norma de la SAE, se consideran elementos básicos para que un proceso de diseño de mantenimiento pueda considerarse un proceso RCM. Estos elementos se ilustran en la figura 30.

Figura 30. Pasos para aplicar el RCM

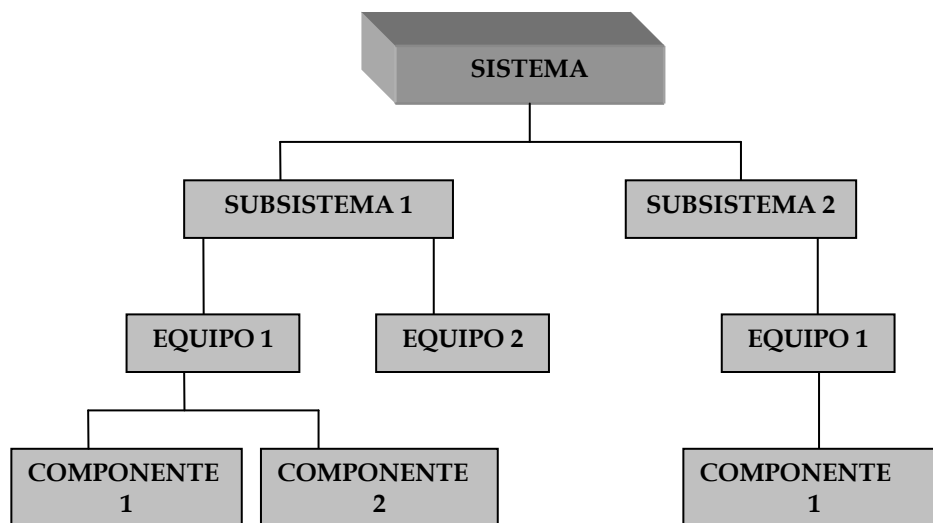


3.7.1 Definición del Equipo o Sistema.

De entre los sistemas críticos se selecciona aquel que se piensa trabajar. Luego se divide en subsistemas y así hasta que cada subsistema se descomponga en equipos y componentes como se muestra en la figura 31.

Otro criterio importante es definir las fronteras, puesto que se debe conocer con exactitud que se estudia y que no, también por que es necesario tener certeza de las entradas y salidas del sistema y no traslapar sistemas consecutivos. Las fronteras se pueden definir de acuerdo a las funciones principales; otro aspecto a tener en cuenta es minimizar el número de subsistemas y definir las entradas y salidas.

Figura 31. Definición de Equipos y Sistemas



Fuente: MEMORIAS VI CONGRESO DE MANTENIMIENTO. RCM. Bogotá: 2004.
25p.

3.7.2 Definición de Funciones del Equipo.

Antes de definir las funciones, se deben definir claramente que es lo que el usuario quiere que haga el equipo, y además garantizar que el activo físico o equipo sea capaz de realizar lo que el usuario quiere que este haga en el ambiente en el que se va a desempeñar. Las funciones se definen como lo que las personas quieren que haga el activo físico, estas a su vez se dividen en funciones primarias y secundarias.

- ❖ **Funciones Primarias.** Constituyen la razón principal por la cual se compró el activo, deben definirse tan precisamente como sea posible de acuerdo a parámetros de funcionamiento del activo, como son: velocidad, volumen, calidad y capacidad de almacenamiento. (A menudo se identifica la función primaria por el nombre del elemento. Por ejemplo, la función primaria de una bomba es bombear algo, la de una rectificadora es rectificar algo, y así sucesivamente).

La función primaria de un transportador podría definirse como:

- Transferir material desde un almacén de materias primas para alimentar una tolva a una razón mínima de 15 toneladas por hora.

- ❖ **Funciones Secundarias.** Constituyen funciones adicionales que el activo físico puede realizar además de las primarias, tales como: seguridad, control, contención, apariencia, protección, economía, eficiencia, integridad estructural e integridad ambiental.

3.7.3 Descripción de las Fallas Funcionales

Las fallas funcionales se definen como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario. Antes de poder aplicar herramientas se necesita identificar las circunstancias que llevan a la falla y preguntar que eventos pueden causar que el activo falle. El mantenimiento centrado en confiabilidad define los estados de falla como falla funcional, por que se dan cuando un activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable y siendo cuidadosos en no tratar la falla como un todo, ya que hay varias formas en las cuales un activo falla, debe considerarse definir una falla teniendo en cuenta la pérdida de una función específica.

Por ejemplo, se hizo constar anteriormente la función primaria de una máquina envasadora de caramelos de caramelos como: “Envasar 250 g. de caramelos en bolsas a una razón mínima de 75 bolsas por minuto”.

La máquina falla si:

- Se para totalmente
- Envasa más de 250 g. de caramelos en cualquier bolsa
- Envasa a una razón inferior de 75 bolsas por minuto.

3.7.4 Descripción de los Modos de Falla

Los modos de falla se definen como las causas de la pérdida de una función. Se analizan para considerar como actuar cuando ocurran. El proceso de evaluación de las consecuencias y selección de las tareas se aplica a los modos

de falla individuales. Los modos de falla que tiene una “probabilidad razonable de producirse” incluyen lo siguiente:

- Fallos que se han producido antes en el mismo equipo, o en otro de características similares
- Modos e falla que ya son objeto de mantenimiento cíclico preventivo los cuales se producirían de no realizarse el mismo

Por ejemplo: Para una bomba A, cuya función es “Bombear agua del depósito X al depósito Y, a 800 litros/minuto, uno de los fallos funcionales de esta bomba es “Dejar totalmente de bombear agua alguna”.

Los modos de fallo que producen este fallo funcional podrían ser los siguientes:

- ✧ Línea de aspiración atascada
- ✧ Rodamientos de bomba agarrotados
- ✧ El impulsor se desprende del eje
- ✧ Falla el motor.... etc.

3.7.5 Descripción de Efectos de Falla

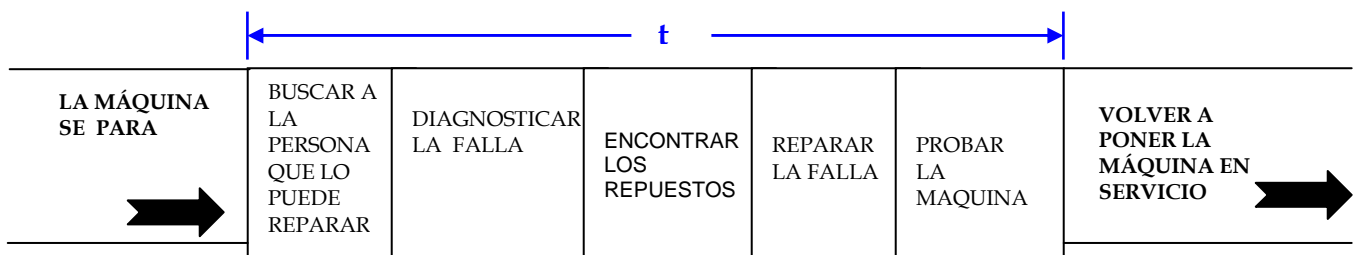
Los efectos de falla se definen como la consecuencia o de hecho que sucede al producirse cada modo de falla (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). La descripción de estos efectos incluye toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de falla. Concretamente, al describir los efectos de un fallo, debe hacerse constar lo siguiente:

- ◆ **Evidencia de falla.** Describe si la falla es evidente a los operadores, ésta va acompañada por efectos físicos como: ruido, humo, incendio, vapor, etc. Por ejemplo, la descripción debería indicar si el fallo hace que se

enciendan las alarmas audiovisuales, y si el aviso se produce tanto en el panel local como en la sala de control, también debe indicar si la maquina queda no operativa como consecuencia de la falla.

- ♦ **Riesgos para la seguridad y el medio ambiente:** Si existe una posibilidad de que alguien se lesione o muera como consecuencia directa de un fallo, o que se infrinja una normativa o reglamento elativo al entorno, la redacción del efecto del fallo debería señalar cómo esto podría ocurrir.
- ♦ **Daños secundarios y su efecto sobre la producción.** Indica como y durante cuanto tiempo se afecta la producción.
- ♦ **Acción correctiva.** Indica que debe hacerse para reparar la falla. En la figura 32 se muestra el proceso correctivo para reparar una máquina.

Figura 32. Tiempo de acción correctiva de una Máquina.



3.7.6 Aplicación Lógica de RCM

La lógica de RCM, es una metodología para elegir las acciones más apropiadas de mantenimiento y sus frecuencias de aplicación. Una vez que se hayan determinado las funciones, los fallos funcionales, los modos y efectos

de falla en cada elemento significativo, el próximo paso en la fase II en el proceso RCM, es: Analizar las consecuencias de las fallas; verificar las tareas de mantenimiento requeridas; establecer las frecuencias de búsqueda de fallas y utilizar el árbol lógico de decisiones para la mejor estrategia de mantenimiento. El anterior proceso se muestra en la figura 33.

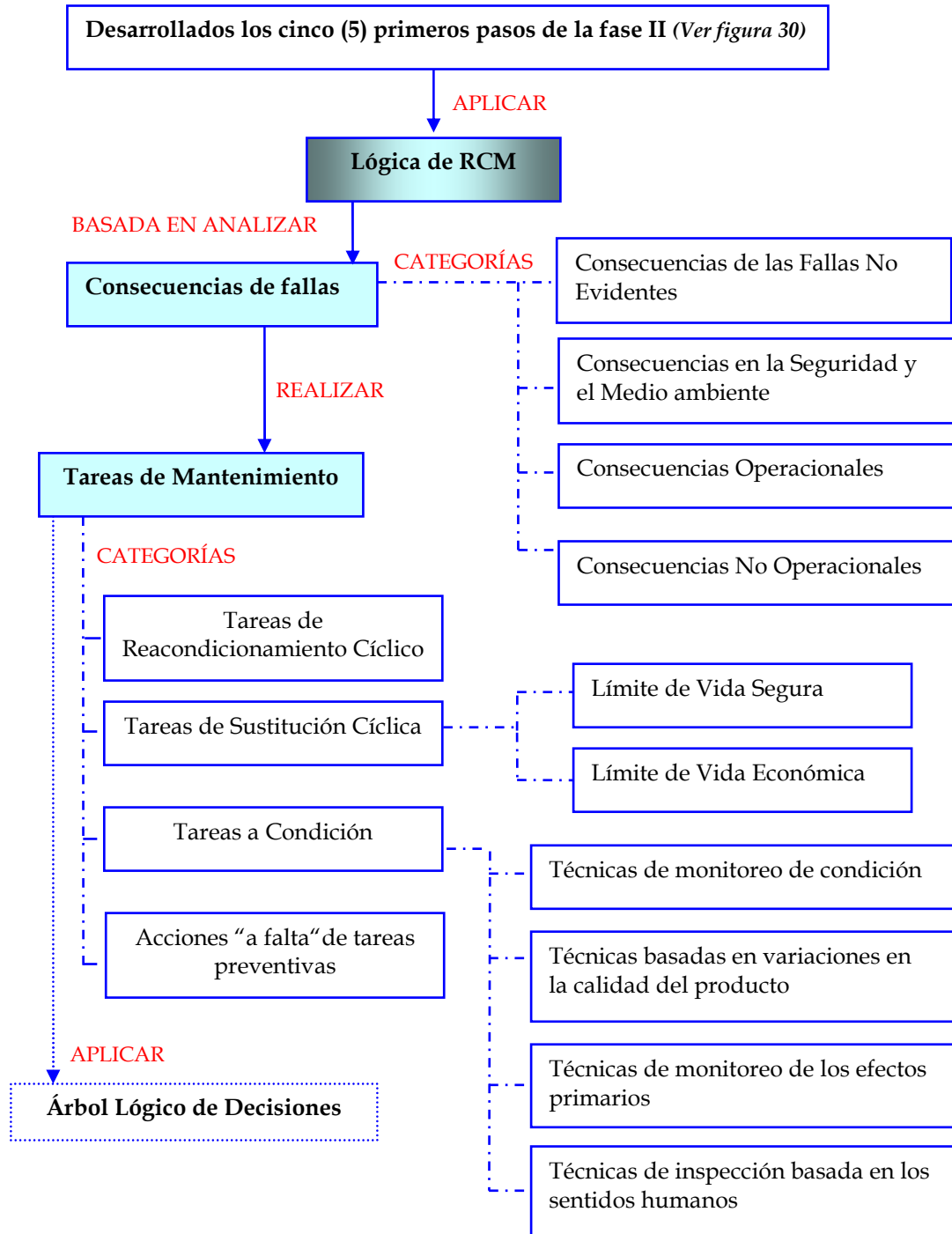
3.7.6.1 Consecuencias de Fallas

Cada falla tiene un conjunto de consecuencias específicas asociadas a ella; pueden ser: Consecuencias de las fallas no evidentes, consecuencias en la seguridad y el medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales. La importancia de cada falla depende del contexto operacional del activo físico; los parámetros de funcionamiento que aplican a cada función y los efectos físicos de cada modo de falla. Si la falla solo tiene consecuencias menores es posible que no se tome ninguna acción de mantenimiento y que la falla sea reparada simplemente cada vez que ocurra, esto implica que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas.

Para evaluar si merece la pena realizar el mantenimiento o las tareas preventivas en que éste se fundamenta, es necesario estudiar la naturaleza de la función que es establecida por el tipo de falla y las consecuencias de la falla funcional. RCM clasifica las consecuencias de falla en cuatro categorías:

- ❖ **Consecuencias de las fallas no evidentes.** Las fallas no evidentes exponen a la organización a fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas.

Figura 33. Aplicación Lógica de RCM



Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas no evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un proceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento. El proceso de decisión para las funciones ocultas puede resumirse como se muestra en la figura 35.

Las fallas ocultas generalmente están relacionadas con dispositivos de seguridad y dispositivos de función en donde la probabilidad de la falla múltiple asociada a la falla oculta posee la siguiente relación:

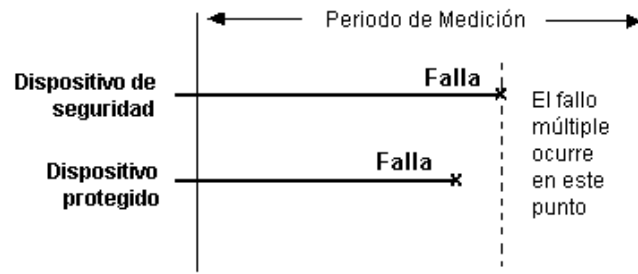
$$\left(\begin{array}{c} \text{Probabilidad de falla} \\ \text{Múltiple} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Probabilidad de la} \\ \text{función protegida} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{c} \text{Probabilidad promedio del} \\ \text{dispositivo de seguridad} \end{array} \right)$$

En la figura 34 se muestra, que en el caso de un sistema protegido por un dispositivo que no cuenta con seguridad inherente, un fallo múltiple sólo puede ocurrir si el dispositivo protegido falla mientras el dispositivo de seguridad está averiado.

- ❖ **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente.** Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Coloca a las personas por encima de la problemática de la producción.

El proceso de decisión para los modos de fallo que traen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente se resumen en la figura 36.

Figura 34. Criterios de funcionamiento y fallos ocultos



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCMII. New York: SOPORTE y CIA LTDA, 1997. p. 56.

Figura 35. Proceso de decisión de fallas ocultas

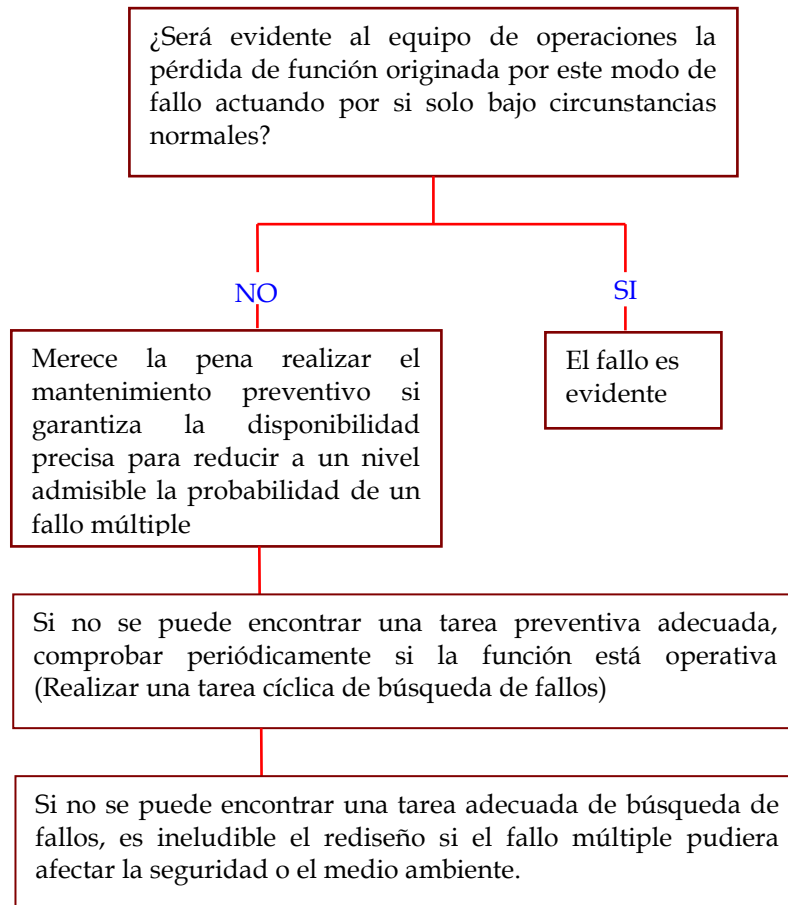
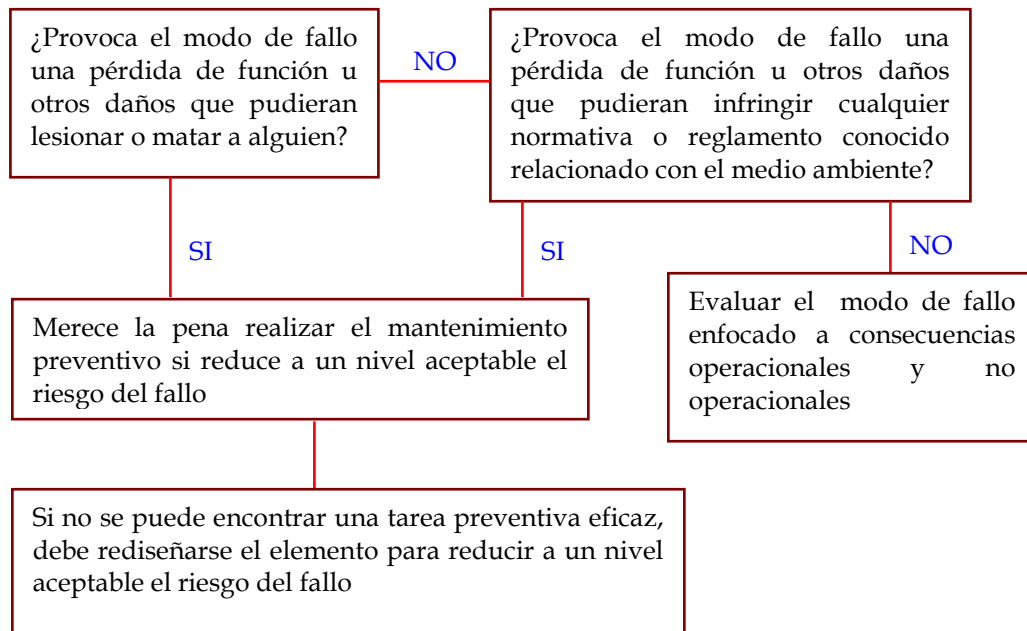


Figura 36. Consecuencias de Seguridad o Medio ambiente

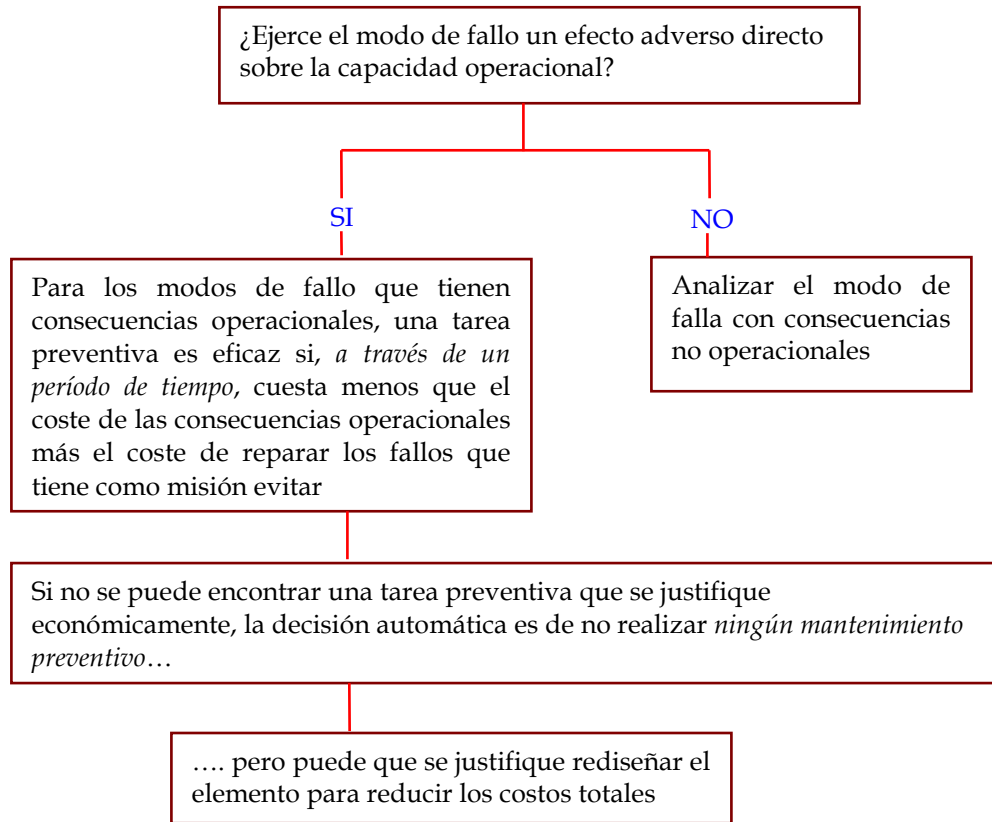


❖ **Consecuencias Operacionales.** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (Capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero por lo tanto se debe asumir el tiempo y gastos económicos en tratar de prevenirlas.

Mencionadas las anteriores observaciones, puede resumirse como se ilustra en la figura 37, el proceso de decisión para los fallos con consecuencias operacionales.

❖ **Consecuencias no operacionales.** Las fallas evidentes que caen dentro de ésta categoría no afectan ni la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

Figura 37. Consecuencias operacionales

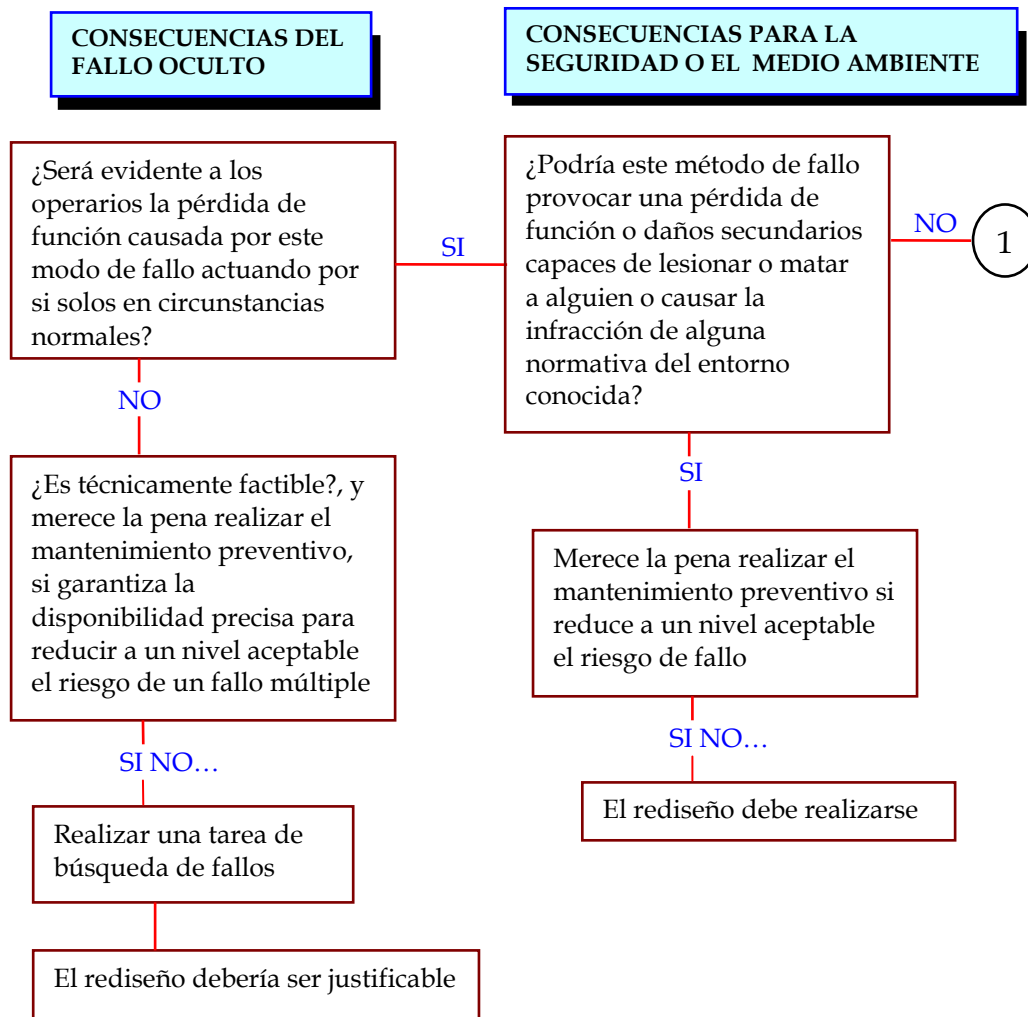


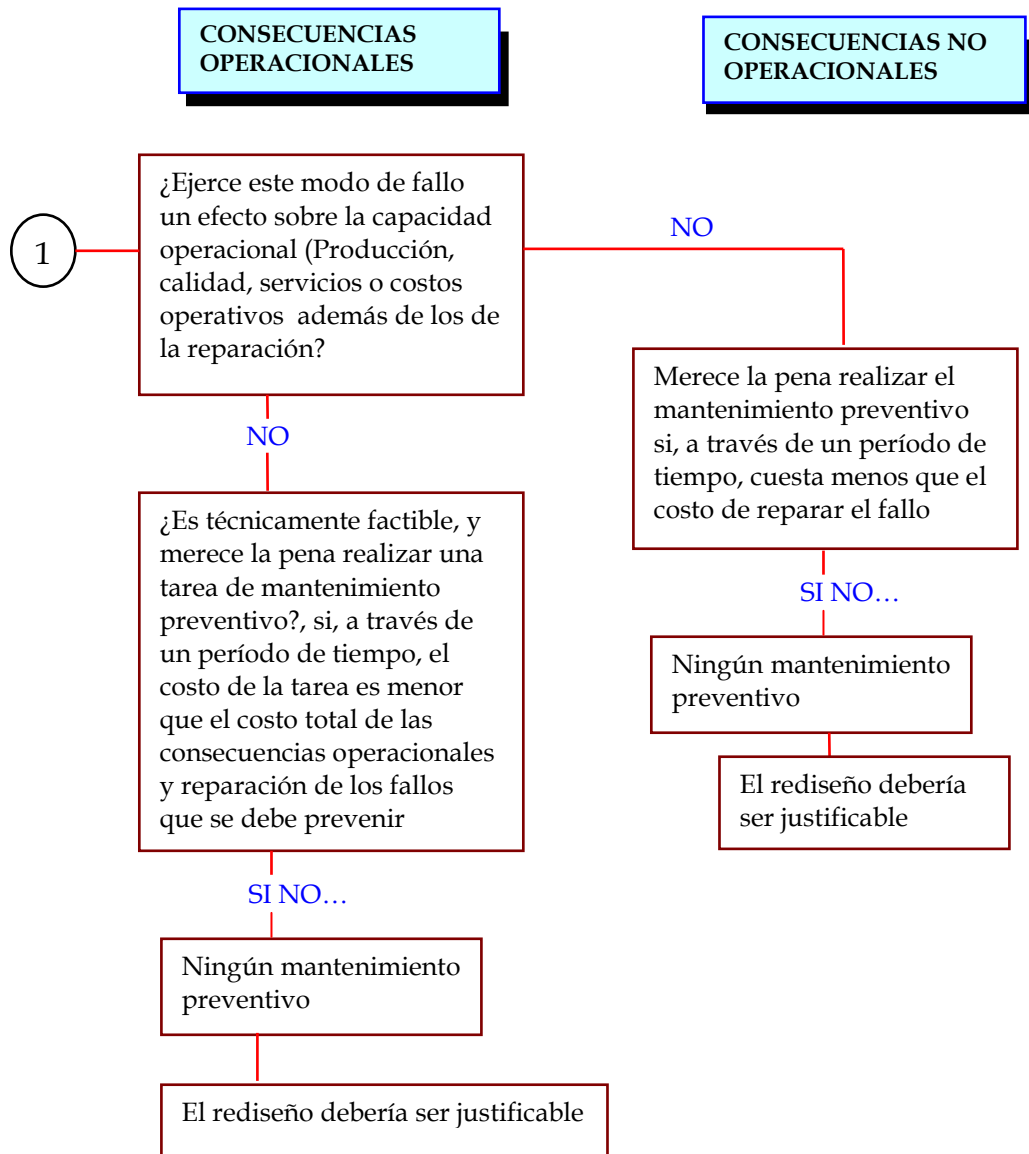
Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de éstas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas se deben realizar.

Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención. El análisis de todas las consecuencias de fallo estudiadas anteriormente, se ilustra en la figura 38.

Figura 38. Análisis consecuencias de falla





La evaluación de las consecuencias de falla, resulta de los respectivos análisis de criticidad (Ver cuadros de consecuencias del capítulo 5), para así evaluar si es necesario establecer una tarea de mantenimiento para ese modo de falla.

3.7.6.2 Tareas de Mantenimiento

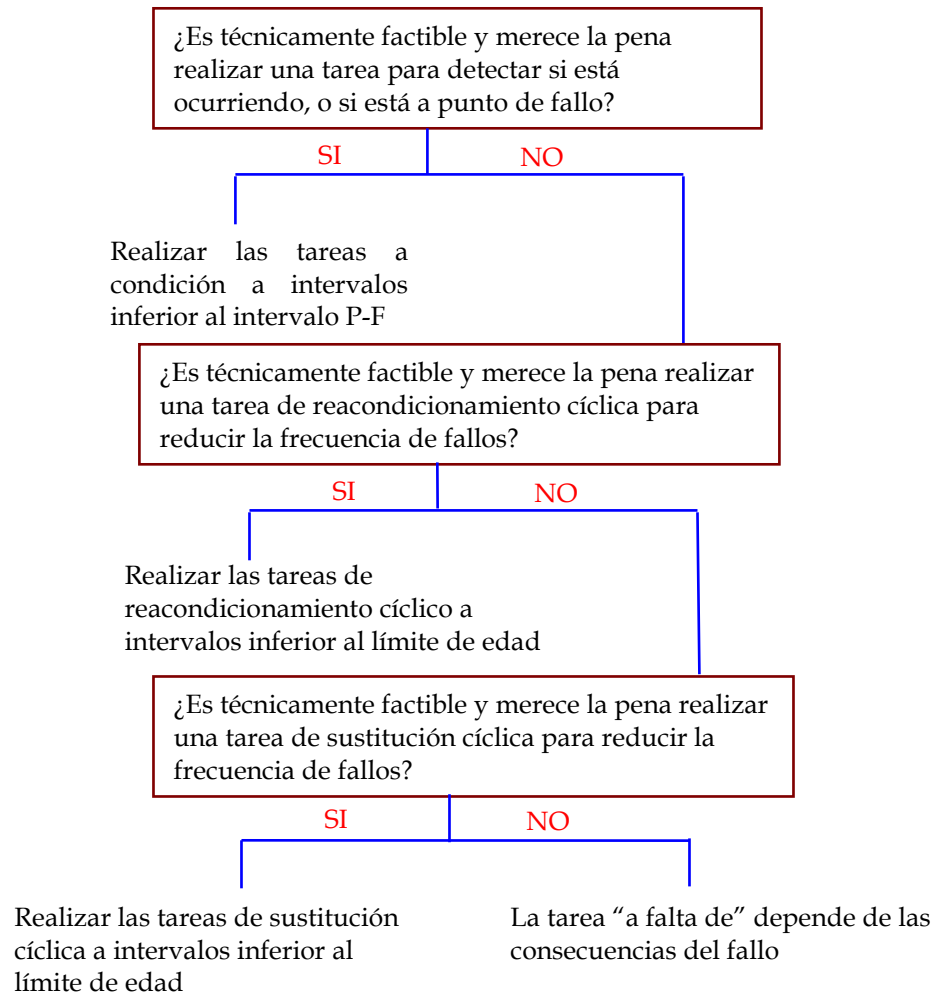
Las tareas de mantenimiento se inician antes de que ocurra una falla, encierra lo que normalmente se conoce como mantenimiento preventivo y predictivo y para RCM significan reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, mantenimiento a condición y acciones a “falta de”.

Para la realización de estas tareas es necesario relacionar la vida del activo con el nivel de esfuerzos al cual están sometidos de acuerdo al patrón de falla que el activo presente. Si una tarea de mantenimiento es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y no de lo económico, puesto que este último hace parte del proceso de evaluación de las consecuencias. En la figura 39 se resume el proceso de selección de las tareas de mantenimiento.

RCM reconoce cada una de las categorías más importantes de tareas de mantenimiento, como siguen:

a. Tareas de Reacondicionamiento Cíclico. Consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto o ensamble completo antes del límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento y su frecuencia está gobernada por la edad en la que empezó a evidenciar muestras de un incremento rápido en la probabilidad de falla. Este tipo de tarea requiere el conocimiento de un historial del activo; en caso contrario, que no se disponga de información, es prácticamente imposible realizar tareas de reacondicionamiento cíclico, sin embargo en caso de quipos susceptibles a fallas que impliquen costos muy elevados debe someterse el equipo a programas de investigación de su vida útil para establecer un patrón

Figura 39. Proceso selección de tareas de mantenimiento



de falla y determinar los beneficios posibles que podrían alcanzarse con las tareas de reacondicionamiento cíclico.

Las técnicas de reacondicionamiento cíclico son factibles si:

- ♦ Hay una edad identificable en la cual el activo muestra un incremento acelerado en la probabilidad de falla.

- ♦ La mayoría de las piezas sobreviven a dicha edad (a menos que los fallos tengan consecuencias para la seguridad o el entorno, en cuyo caso, todos los elementos deben de superar esta edad)
- ♦ Es posible conseguir su estado inicial, realizando esta tarea.

Frente a las acciones correctivas esta tarea posee un tiempo menor ya que es posible planear con anticipación la tarea programada y son más costo-eficaces.

b. Tareas de Sustitución Cíclica. Consiste en descartar un elemento o componente antes del límite de edad específico independientemente de su condición en ese momento. Se entiende que al cambiar el componente que alcanzó su vida útil será restaurada su capacidad inicial. La frecuencia de las tareas de sustitución cíclica está gobernada por la edad para la cual la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

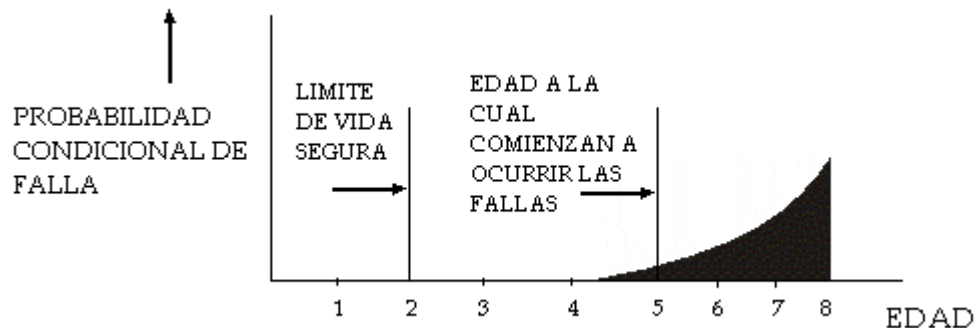
Las técnicas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles si:

- ♦ Hay una edad identificable en el cual el activo muestra un incremento acelerado en la probabilidad de falla
- ♦ La mayoría de los elementos sobreviven a dicha edad.

Sin embargo no siempre que se repone un componente de un activo, se consigue que el sistema sea seguro frente a esta situación, la técnica RCM reconoce dos tipos diferentes de límites de edad al ocuparse de las tareas de sustitución cíclica, como son:

- ♦ **Límite de vida segura:** Los límites de vida segura solo se aplican a fallas que tienen consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, por tanto los patrones de falla que presenten una zona de “mortalidad infantil”, deben aplicarse a modos de falla en que no se espera ninguna falla antes de alcanzar la zona de desgaste definitivo. En la figura 40 se muestra las etapas de probabilidad condicional de falla en la vida útil del equipo.

Figura 40. Límite de vida segura



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCMII. New York: SOPORTE y CIA LTDA, 1997. p. 56.

- ♦ **Límite de vida económica:** Aplica a determinar un intervalo de sustitución cíclica basado en algo más que una fracción del tiempo medio entre fallas para minimizar en lo posible los costos debidos al consumo de repuestos que requieren las tareas de sustitución cíclica, esto es aplicable a fallas que no afectan la seguridad y el medio ambiente.

c. Tareas a condición. Son fallas que no están relacionadas con la edad. Los patrones de falla de los activos casi nunca se acomodan a la creencia común en el cual el deterioro de los componentes es proporcional a la vida en servicio, debido a esto en los casos en los cuales no es posible programar una

tarea basada en reacondicionamiento o sustitución cíclica la técnica RCM emplea un recurso adicional que es el mantenimiento a condición que se fundamenta en prevenir los incrementos de los esfuerzos asociados a los activos como prioridad frente a las modificaciones que puedan hacerse al activo mismo.

Los niveles de complejidad que manejan los equipos diseñados actualmente hacen que los patrones de falla con zonas de “mortalidad infantil” se presentan mas frecuentemente debido a que el gran número de reparaciones programadas aumenta la posibilidad de fallas en sistemas que de otra manera serian estables. En estos casos puede decidirse no realizar ninguna actividad de mantenimiento para prevenir la falla funcional, sin embargo en los casos en los cuales la falla funcional requiere de altos costos para su reparación mediante acciones correctivas o si afecta el medio ambiente o la seguridad deben llevarse a cabo tareas encaminadas a prevenir dichas fallas funcionales.

Aunque muchos de los modos de falla no se relacionan con la edad, la mayoría de ellos da algún tipo de advertencia de que algo esta fallando o esta por ocurrir, depende entonces el éxito de la operación a condición del tiempo del cual se dispone para actuar desde el momento en que se detecta la falla potencial hasta cuando finalmente se llega a la falla funcional. El intervalo que se menciona y se muestra en la figura 41, se conoce como intervalo P-F (Potencial-Funcional), lo cual dependiendo de la duración de este intervalo y de su nivel de consistencia puede determinarse si es factible realizar alguna tarea de mantenimiento a condición.

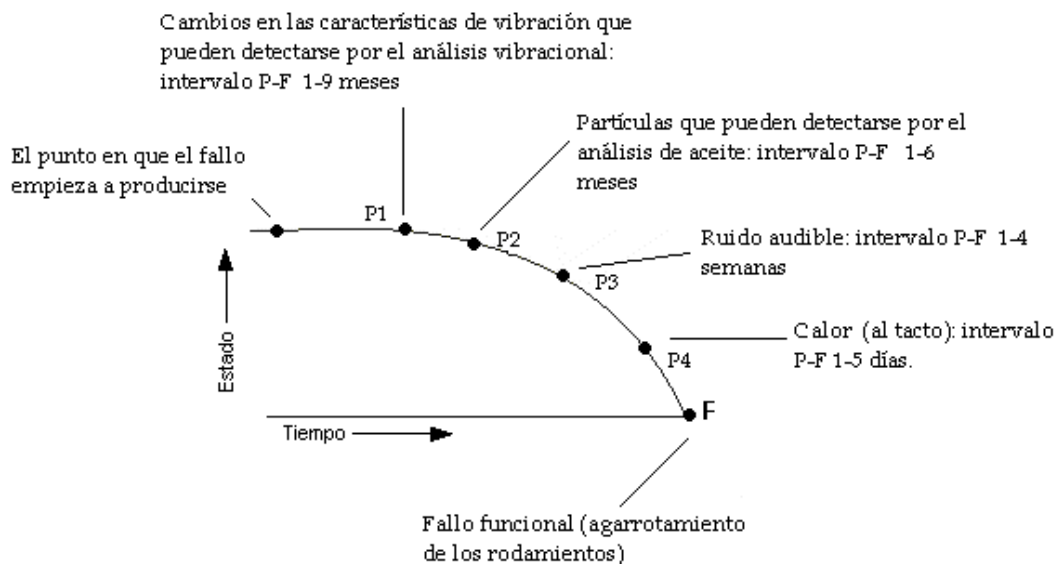
Las tareas de mantenimiento a condición deben ser llevadas a cabo a intervalos menores que el intervalo P-F, en la práctica se considera como una

buena opción manejar un intervalo de inspecciones a condición equivalente a la mitad del intervalo P-F desde el punto de vista de planear las acciones preventivas y de minimizar las inspecciones a condición.

Para realizar las tareas de inspección para el mantenimiento a condición la técnica RCM contempla cuatro categorías bajo las cuales es posible determinar la falla potencial, como son:

- ♦ **Técnicas de monitoreo de condición.** Emplean equipos especiales para monitorear las fallas basadas en diferentes tipos de efectos físicos que pueden presentar los componentes: Efectos físicos, dinámicos, de partícula, químicos, físicos, de temperatura, eléctricos; como se muestran en la figura 41.

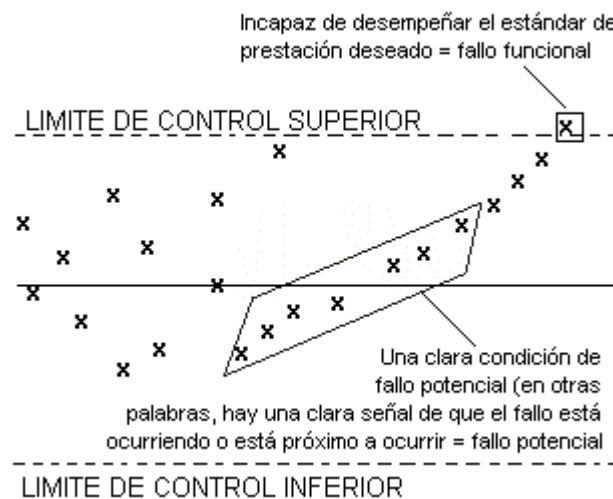
Figura 41. Fallos Múltiples.



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCMII. New York: SOPORTE y CIA LTDA, 1997.

- ♦ **Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.** Si una función se define en cuanto a parámetros restringidos a un límite de especificación superior y otro inferior puede determinarse la falla potencial mediante pruebas de control de calidad evaluando si el producto se sale de los límites de control. El anterior proceso se ilustra en la figura 42.

Figura 42. Control estadístico de procesos



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCMII. New York: SOPORTE y CIA LTDA, 1997.

- ♦ **Técnicas de monitoreo de los efectos primarios.** Contemplan el monitoreo de variables como la presión, el caudal, velocidad temperatura, corriente etc. El monitoreo puede hacerse mediante instrumento o mediante computadoras conectadas a los elementos. Formas of line u on line, también en red.
- ♦ **Técnicas de inspección basada en los sentidos humanos.** Son técnicas basadas en las percepciones que pueden tener las personas como ver, oír,

sentir, oler. Presenta el problema de tornarse demasiado subjetivo ya que es difícil unificar criterios, sin embargo constituye una alternativa muy eficaz en el sentido de los costos. En mantenimiento se denomina inspección manual.

El monitoreo de condición es factible en aproximadamente 20% de los modos de falla, de los cuales merece la pena aplicarse en solo la mitad de los casos, debido a esto el mantenimiento basado en tareas de inspección por condición representa solo un pequeño aporte a la solución del problema, debe aplicarse para su éxito, la categoría de técnica de condición mas costo- eficaz, como la siguiente:

d. Acciones a falta de tareas preventivas. Se contemplan cuando no es posible establecer una tarea preventiva apropiada para el manejo de la falla, se fundamentan en tareas de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento correctivo.

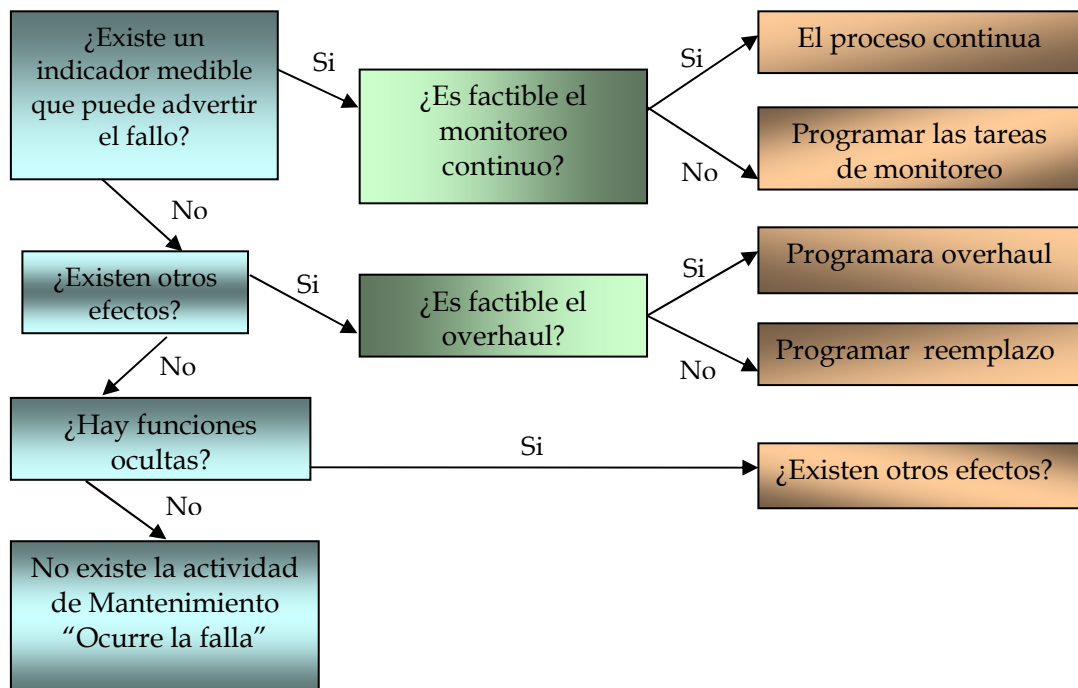
3.7.6.3 Árbol Lógico de Decisiones

La aplicación de un Árbol Lógico de Decisión, es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis. Para la construcción de éste árbol mostrado en la figura 43, se deberán definir previamente los criterios a considerar y sus prioridades correspondientes. Así por ejemplo, se podrá dar prioridad a la prevención del fallo frente a su corrección, a la aplicación de técnicas de mantenimiento basadas en la condición operativa del equipo frente a actividades periódicas

de mantenimiento o considerar aspectos tales como la evidencia de los fallos para los operadores cuando dichos fallos ocurren.

El resultado de esta tarea, será el conjunto de actividades de mantenimiento recomendados para cada equipo. Se definirá el contenido concreto de las actividades específicas que deben realizarse y sus frecuencias de ejecución correspondientes. Para el desarrollo del proceso RCM, puede resultar de utilidad la elaboración de "plantillas" en las que se recoja el conocimiento disponible sobre el mantenimiento de los distintos tipos de equipos, con el fin de establecer las apropiadas tareas y frecuencias de ejecución de forma sistemática y homogénea, en función de aspectos tales como la criticidad del equipo, su frecuencia de uso o las específicas condiciones ambientales de su entorno operativo, entre otros.

Figura 43. Árbol lógico de decisiones.



4. SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA RCM

En la fase III, se pretende mostrar el marco teórico que facilite la comprensión de la importancia que tiene un sistema de información para RCM dentro de una organización.

4.1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Antes de ofrecer una definición del concepto de sistema de información se iniciará por definir los términos que lo constituyen: Sistema e información, para tener una idea clara de lo que es un sistema de información.

4.1.1 Concepto de sistema. El término sistema se emplea para designar un concepto, una herramienta genérica que se puede emplear para explicar o analizar mejor cómo es o qué ocurre en una determinada área social, económica, física, científica, etc.

A partir de esta definición se pueden identificar cuales son los principales elementos presentes en cualquier sistema.

- Los *componentes* del sistema
- Las *relaciones* entre ellos, que determinan la *estructura* del sistema
- Los *objetivos* del sistema
- El *entorno* del sistema: aquello que lo rodea, dentro del cual está ubicado
- Los *límites* del sistema: la *frontera* entre lo que el sistema y lo que constituye el entorno.

4.1.2 Concepto de información. La información es una serie de datos que han sido procesados en forma significativa para quien los requiere y son de valor real y perceptible para las decisiones actuales y futuras; debe tener características que sean de gran importancia para el desarrollo de un buen sistema de información, tales como:

- Exactitud: Garantiza la información, verificando la captura, registro y procesamiento de datos.
- Forma: Estructura de la información en el momento de ser presentada al consultor.
- Frecuencia: Tiempo que indica que tan a menudo se necesitará la información.
- Alcance: Grado de cobertura de los datos representados por la información.
- Horizonte: Información de eventos pasados, presentes y proyectados.
- Relevancia: Grado de satisfacción que proporciona al usuario
- Entereza: Utilidad de la información, puede o no resolver el problema
- Oportunidad: Disponibilidad en el momento que se necesite.

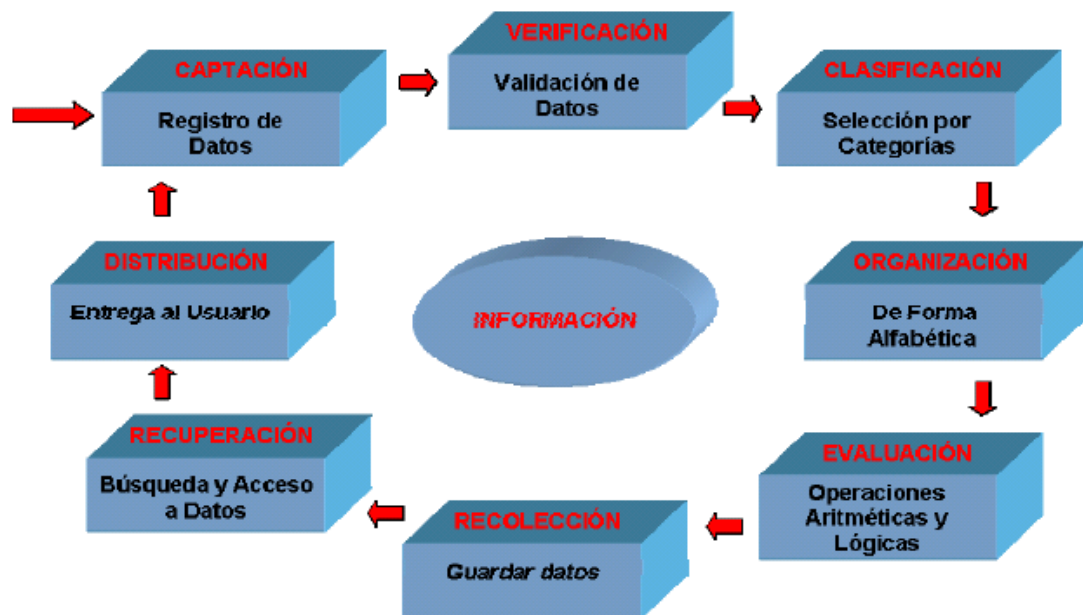
4.1.3 Sistema de información. Teniendo ya los conceptos de sistema, e información, se puede presentar la definición de lo que es un sistema de información. Cabe resaltar que las definiciones mas empleadas de *sistema de información* denotan, ante todo, su objetivo (para qué) más que lo que es o cómo es. En este sentido una de las definiciones mas completas de SI es:

“Un conjunto formal de procesos que, operando sobre una colección de datos estructurada según las necesidades de la empresa, recopilan, elaboran y distribuyen la información (o parte de ella) necesaria para las operaciones de

dicha empresa y para las actividades de dirección y control correspondientes (decisiones) para desempeñar su actividad de acuerdo a su estrategia de negocio.”⁵

Para obtener un buen sistema de información es necesario realizar operaciones con los datos que permitan generar un valor o utilidad de la información para el usuario. Algunas de las operaciones que pueden ser realizadas con los datos e información dentro del sistema independientemente del medio o procesamiento usado se pueden ver en la figura 44.

Figura 44. Obtención y Circulación de información



Fuente: Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento de Campo Colorado. Trabajo de grado. Ronald Darío Sanabria. OP. Cit. p. 45.

⁵ PIATTINI, G. Mario. ET al. O. Cit. p. 10

4.2 ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA MANTENIMIENTO

En los comienzos de la utilización de los sistemas de información en las empresas, se tenía un simple control correctivo de sus actividades de mantenimiento y de la información básica de algunos de sus equipos, presentándose un descuido en las acciones de tipo preventivo, predictivo, el control de costos e inventarios y del personal a cargo del área de mantenimiento.

Toda empresa por pequeña que sea tiene un mínimo de información que manejar, ya sea sobre los equipos, los manuales y catálogos de operación, proveedores, repuestos, etc., y es necesario para cualquier empresa y sistema de información delimitar el nivel en el cual se piensa manejar información, de acuerdo con esto, y con las políticas gerenciales de la organización, ésta pueda elegir implantar sistemas manuales o sistemas computarizados.

4.2.1 Sistemas de información manuales. Dentro de esta clasificación se pueden catalogar todos aquellos sistemas de información en los cuales los formatos y toda la información que en ellos genere, son manejados exclusivamente en documentos físicos. Este tipo de SI debe estar apoyado por los *elementos básicos de un SI*.⁶

4.2.2 Sistemas de información computarizados. Éste tipo de SI para mantenimiento, surge de la necesidad de manejar grandes volúmenes de información con un mínimo de esfuerzo.

⁶ Elementos Básicos de los SI, que son expuestos en el numeral 4.3 del presente capítulo.

Un sistema de información computarizado es un sistema de clasificación, almacenamiento, recuperación y retroalimentación de datos, a fin de sacar conclusiones con el deliberado propósito de orientar la toma de decisiones. Es un sistema abierto ya que interactúa con su ambiente intercambiando información, convirtiéndose en un sistema hombre-máquina en donde es fundamental el uso de computadores, los cuales son dirigidos y controlados. Adicionalmente las entradas son datos y las salidas información. Este tipo de sistemas permiten: obtener los programas y actividades de trabajo diario en forma inmediata; agilizar el intercambio de información de diferentes formatos entre zonas o secciones; manejar adecuadamente y con gran facilidad los inventarios de repuestos, herramientas y materiales; manejar y visualizar los indicadores de gestión en forma continua; y planificar y programar las actividades de mantenimiento con exactitud, regularidad y celeridad.

❖ **Variables de entrada y salida.** Existe un tipo de información básica que se debe alimentar a un sistema de información de mantenimiento para que las tareas que se ejecuten posteriormente tengan completa coherencia, secuencia y efectividad, esto corresponde a la población de datos. Además existen las variables de entrada y salida, cuyo flujo dentro del sistema de información garantizará un aprovechamiento del potencial de la aplicación y la obtención de la información de manera ágil y oportuna.

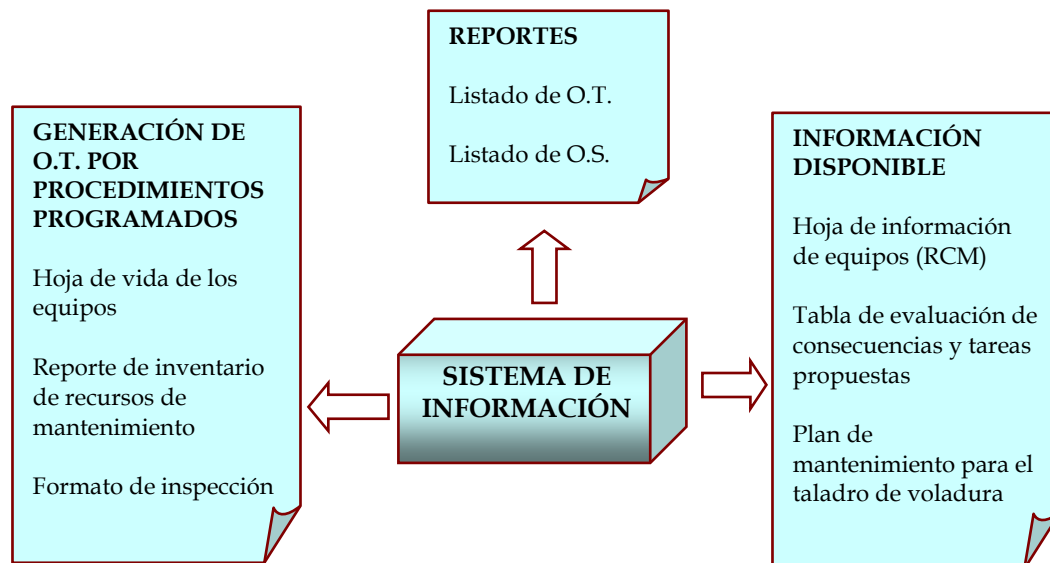
Las variables de entrada descritas en la figura 45 son fundamentales y necesarias para que el sistema entregue resultados suficientes y veraces sobre la función mantenimiento; tanto reportes escritos como información guardada en una base de datos. La información que debe arrojar el sistema

de información se puede observar en la figura 46, donde se representan las variables de salida para el sistema.

Figura 45. Variables de Entrada del Sistema de Información



Figura 46. Variables de Salida del Sistema de Información



4.3 ELEMENTOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA RCM

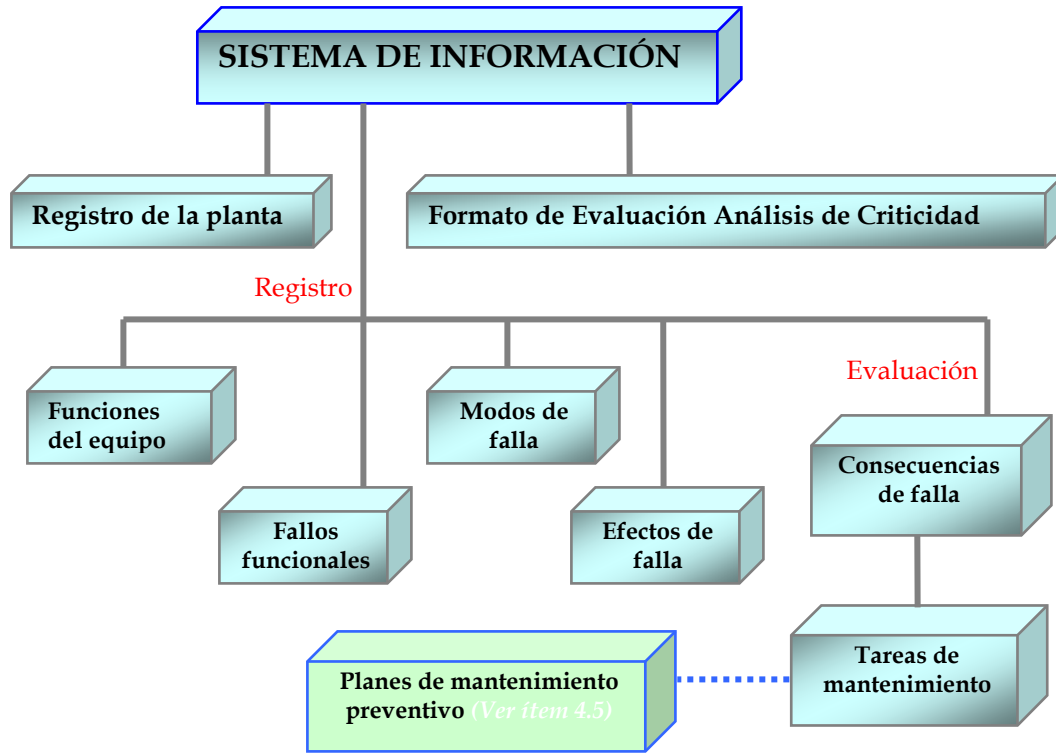
La información, es una parte importante en el proceso de toma de decisiones y en la solución de problemas de una organización. De este modo se puede pensar en el sistema de información del mantenimiento como el subsistema de la organización, encargado de producir la información necesaria para la operación y toma de decisiones en la gestión del mantenimiento. Por este motivo, se realizó un sistema de información manual para RCM, el cual está diligenciado por un personal previamente capacitado, con el fin de garantizar que la información capturada en los documentos del SI sea real y confiable, para que de esta manera la gestión del mantenimiento sea apoyada de buena forma. Los elementos primordiales que componen un sistema de información para RCM se pueden ver en la figura 47.

4.3.1 Registro de la planta. La numeración de los componentes es uno de los aspectos más polémicos de la numeración de la planta. Como hemos visto, los sistemas jerárquicos se basan en las unidades y los elementos.

La numeración de componentes significa en esencia que a cada componente se le da su propio número el cual permanece con él por toda su vida útil. Este número no cambia si el componente se traslada a otro lugar.

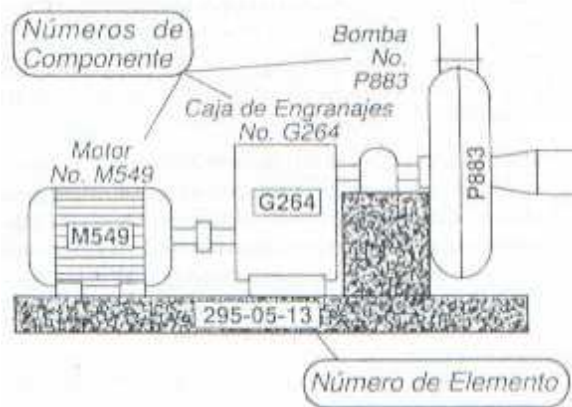
Por ejemplo, cuando una bomba es accionada por un motor mediante una caja de engranajes, a la bomba se le da un número, al motor otro número y a la caja de engranajes otro número. (Notar que el conjunto entero es considerado como un solo elemento en un sistema jerárquico de numeración).

Figura 47. Elementos Básicos de un SI para RCM



Los números del componente están fijados directamente a cada uno de ellos, de modo que si falla la bomba, se sustituye por una bomba con un número diferente. Esto está ilustrado en la figura 48.

Figura 48. Numeración de Componentes



4.3.2 Formato de Evaluación Análisis de Criticidad. Este formato se diligencia después de haber realizado las encuestas correspondientes al equipo de trabajo, obteniendo los resultados de criticidad de los sistemas analizados.

El formato utilizado para evaluar la criticidad, se muestra en la figura 49. El propósito de este trabajo es que la información contenida será aplicada para la jerarquización de los diferentes equipos con el propósito de que a los equipos CRITICOS se le aplique todos los procedimientos de integridad Mecánica. En el formato se analiza cada sistema del equipo, dando un valor específico a cada uno de los criterios de evaluación de criticidad (La descripción de cada criterio se muestra en el capítulo 3)


Figura 49. Formato evaluación para el análisis de criticidad

		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO			PROPOSITO DE ESTE TRABAJO: La información contenida en este formato será para la jerarquización de los diferentes equipos con el propósito de que a los equipos CRITICOS se le aplique todos los procedimientos de Integridad Mecánica.		
		PROGRAMA DE INTEGRIDAD MECÁNICA					
		FORMATO DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD					
TALADRO							
FUENTES DE INFORMACIÓN		Equipo Natural de Trabajo, Bilácora de mantenimiento, Tarjeta de Costos, Tarjeta de inventario.					
FECHA		Enero de 2005					

Nº	SISTEMA	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	CÓSTO DE MTTO	IMPACTO SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL
1	SISTEMA ESTRUCTURAL	1	10	4	2	8	50	50
2	SISTEMA DE LEVANTE	2	10	2	1	8	29	58
3	SISTEMA DE ROTACIÓN	3	10	2	2	8	30	90
4	SISTEMA DE CIRCULACIÓN	2	10	1	1	8	19	38
5	SISTEMA DE POTENCIA	2	10	1	2	1	13	26
6	SISTEMA DE CONTROL DE POZO	2	10	2	2	8	30	60
7	SISTEMA NEUMÁTICOS	2	10	1	1	8	19	38
8	SISTEMAS DE PROTECCIÓN	2	10	2	1	8	29	58
9	SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN	3	10	2	1	8	29	87
10	SISTEMA ELÉCTRICO	3	10	2	2	3	25	75
11	SISTEMA TRANSPORTE Y MONTAJE	2	1	1	1	8	10	20


4.3.3 Registro de funciones del equipo. Las funciones están registradas en la columna del extremo izquierdo de la hoja de trabajo de información RCM. Se suelen registrar primero las funciones primarias, asignando un orden numérico a las funciones, según se muestra en la figura 50.

Figura 50. Registro funciones del equipo

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM			
 Carbones Colombianos del Cerejón S. A.	SISTEMA	BARRA EMPUJADORA MÁQUINA DESHORNADORA	
	SUBSISTEMA	MOTOR ELÉCTRICO	HOJA 1 de 4
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1 Suministrar una potencia de 50±2 kW. a una velocidad de 550±10 RPM en el eje del motor	A Incapaza de transferir potencia B Transferir una potencia menor a la del rango establecido	1 No existe suministro de energía eléctrica al sistema o subsistema 2 Existe un daño en los elementos de protección, control o maniobra	* El motor no arranca ni se energiza, no es posible mover la barra empujadora, existe una falla en el suministro por parte de la Planta de Fuerza. * El motor no arranca ni se energiza, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras.

4.3.4 Registro fallos funcionales. Estos fallos se registran en la segunda columna de la Hoja de de Trabajo de Información RCM. Están codificados alfabéticamente, como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Registro fallos funcionales

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM			
 Carbones Colombianos del Cerejón S. A.	SISTEMA	BARRA EMPUJADORA MÁQUINA DESHORNADORA	
	SUBSISTEMA	MOTOR ELÉCTRICO	HOJA 1 de 4
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1 Suministrar una potencia de 50±2 kW. a una velocidad de 550±10 RPM en el eje del motor	A Incapaza de transferir potencia B Transferir una potencia menor a la del rango establecido	1 No existe suministro de energía eléctrica al sistema o subsistema 2 Existe un daño en los elementos de protección, control o maniobra	* El motor no arranca ni se energiza, no es posible mover la barra empujadora, existe una falla en el suministro por parte de la Planta de Fuerza. * El motor no arranca ni se energiza, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras.

si merece hacerle una tarea de mantenimiento. Para cada consecuencia que se describe en la figura 54, se le asigna una escala de valoración, para así realizar una sumatoria y obtener una cantidad total de las consecuencias para un modo de falla.

Figura 53. Registro modos y efectos de falla


HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM				
		SISTEMA	BARRA EMPUJADORA MÁQUINA DESHORNADORA	
		SUBSISTEMA	MOTOR ELÉCTRICO	HOJA 1 de 4
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	
1 Suministrar una potencia de 50±2 KW. a una velocidad de 550±10 RPM en el eje del motor	A Incapaza de transferir potencia B Transferir una potencia menor a la del rango establecido	1 No existe suministro de energía eléctrica al sistema o subsistema	* El motor no arranca ni se energiza, no es posible mover la barra empujadora, existe una falla en el suministro por parte de la Planta de Fuerza.	
		2 Existe un daño en los elementos de protección control o maniobra	* El motor no arranca ni se energiza, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras.	
		3 El riel de alimentación no hace contacto con el pantógrafo.	* El motor no arranca ni se energiza pero la Planta tiene suministro de corriente AC y DC, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, se aplazan los deshomes programados, fallan los elementos de protección y/o control, se da aviso a mantenimiento eléctrico.	

Figura 54. Evaluación de consecuencias de falla y tareas de mantenimiento

Voltaje UMA-1, UMA-2				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
Valor	Peso	Total					
0	0,3	0	Se hace limpieza que consiste en retirar corrosión, sulfatación, polvo. También se reapetran borneras, cables y tornillos	1 año	Electricista	Mantenimiento Correctivo	
0	0,25	0					
3	0,1	0,3					
0	0,1	0					
0	0,25	0					
Total			0,3				
Motor UMA-1, UMA-2				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
Valor	Peso	Total					
0	0,3	0	Se verifican las variables de corriente, voltaje y resistencia en el motor, también se hacen pruebas de aislamiento.	4 meses	Electricista	Mantenimiento Preventivo	
0	0,25	0					
1	0,1	0,1					
2	0,1	0,2					
0	0,25	0					
Total			0,3				

4.4 PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM

Después de obtener los resultados del análisis de criticidad y el análisis RCM, herramientas que dan la pauta para el estudio de los sistemas críticos del taladro, se realiza un plan de mantenimiento preventivo general que permite reducir las paradas imprevistas, reducir los costos de mantenimiento y realizar un mejor control de personal, materiales y equipos.

4.4.1 Marco teórico. Se puede definir el mantenimiento preventivo como el conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos. Esto significa que un programa de mantenimiento preventivo incluye dos actividades básicas:

- Inspección periódica de los equipos, para describir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción.
- Conservar el equipo para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren en una etapa incipiente.

Para la implantación de un sistema de mantenimiento preventivo son necesarias ciertas bases, quizá la más importante es la participación ideológica de todos los sectores involucrados.

4.4.2 Ventajas del mantenimiento preventivo. Cualquier plan de mantenimiento preventivo bien elaborado y apropiadamente aplicado, produce beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del mantenimiento preventivo, las más importantes son las siguientes:

- Reducción de las paradas imprevistas de los equipos
- Mayor seguridad para operarios y maquinaria
- Menor necesidad de reparación en gran escala y menor número de reparaciones repetitivas, por lo tanto menor acumulación de la fuerza de trabajo.

4.4.3 Aplicación de los programas. Antes de aplicar un plan de mantenimiento para RCM hay necesidad de cubrir dos etapas fundamentales, que son la programación y la implementación propiamente dicha. En la etapa de programación se debe determinar:

- ✓ El orden en que se programa el mantenimiento preventivo.
- ✓ Clasificar los tipos de programas.
- ✓ Integración de los grupos de trabajo.

4.4.4 Frecuencias de las inspecciones. Un aspecto muy importante para lograr una buena programación de mantenimiento preventivo, es la fijación de las frecuencias de inspección, lo cual influye preponderantemente, en los costos y economía del programa. La decisión de cuan a menudo inspeccionar es fundamentalmente un asunto experimental.

Sin embargo, la sub-inspección produce más paros y descomposturas cuyos costos son mucho mayores que los ahorros en inspecciones. Se necesita por lo tanto un equilibrio óptimo para lograr buenos resultados. Existen dos tipos de mantenimiento relacionados con la frecuencia:

- ❖ **Mantenimiento de alta frecuencia.** Se define como programas de alta frecuencia a aquellos que se realizan con intervalos de hasta una semana. Estos programas generalmente consisten en tareas de prevención y

búsqueda de fallas simple. Tienen un bajo contenido de trabajo y por lo tanto pueden hacerse rápidamente. La mayoría puede llevarse a cabo mientras el equipo esté funcionando.

- ❖ **Mantenimiento de baja frecuencia.** Son aquellos que se hacen con intervalos de un mes o más. Sus horizontes de planeamiento más largos los hacen menos manejables que los sistemas de planeamiento simples como los usados para los programas de alta frecuencia. Los mantenimientos de baja frecuencia implican un trabajo mayor y por lo regular se necesita más tiempo para realizarlo; generalmente se debe detener el equipo mientras se esta llevando a cabo.

4.4.5 Programas realizados por los operarios. Desde el punto de vista del RCM el atributo más valioso de los operarios es que están cerca del equipo durante mucho tiempo. Esto los pone en una posición ideal para realizar muchas de las tareas de prevención y búsqueda de fallas. Estas por lo general son tareas de muy alta frecuencia, algunas diarias o hasta de una o dos veces por turno con lo que se debe tener mucho cuidado para que el sistema administrativo asociado se mantenga lo más simple posible.

4.4.6 Ningún mantenimiento programado. En el caso de que la falla sea evidente, y no afecte la seguridad ni el medio ambiente entonces la acción inicial es no realizar ningún mantenimiento programado. En estos casos los elementos son dejados en servicio hasta que ocurra una falla funcional, momento en el cual son reemplazados o reparados. “Se debe tener en cuenta que NO realizar mantenimiento programado, NO significa que ello se olvide”.

4.5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REALIZADO PARA EL TALADRO DE VOLADURA

El plan de mantenimiento preventivo, basado en RCM, para el taladro de voladura, fue realizado para los sistemas más críticos, según los resultados del Análisis de Criticidad; además está hecho con base en los modos de falla que se obtuvieron en el Análisis de Modos y Efectos de Falla. El plan de mantenimiento diseña rutas de inspección que proporcionan información del estado de los componentes que hacen parte de los sistemas críticos.

El formato utilizado para el plan de mantenimiento se muestra en la figura 55, describe el tipo de actividad en cada sistema, las frecuencias de inspección, el encargado y el tipo de mantenimiento. Esta información es necesaria para planear trabajos programados que puedan prevenir paros imprevistos y daños severos en el equipo. Estas rutas de inspección fueron diseñadas bajo la supervisión de ingenieros de mantenimiento y producción, de tal forma que el supervisor u operario revise los puntos vulnerables de los componentes del equipo, (Ver capítulo 5, donde se llenan los formatos para el taladro).

Figura 55. Plan de mantenimiento para el taladro de voladura

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL TALADRO DE VOLADURA				
TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	ENCARGADO	TIPO DE MANTENIMIENTO
Sistema	Hidráulico	Subsistema	Sistema de traslación	
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar las zapatas y los resortes de los electro frenos del motor eléctrico.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones al reductor de traslación e inspeccionar nivel de aceite.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar los 4 acoples del árbol de transmisión hacia el piñón de ataque.	QUINCENAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar piñón de ataque y sus componentes. (Eje, cojinetes, lubricación, etc.)	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar ruedas motrices, ruedas locas y sus componentes. (Ejes, cojinetes, pasadores, lubricación, etc.)	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO

4.5.1 Inspección técnica para el taladro de voladura. Adicional al plan de mantenimiento desarrollado en aplicación del RCM, se realizaron formatos basados en dos categorías:

- **Actividades de mantenimiento para el taladro.** En este formato se describen las diferentes actividades (Limpieza, overhaul, reemplazo, ajuste, chequeo), que se realizan a cada componente de los sistemas del taladro, dando como referencia las horas de operación y las observaciones del equipo (*El formato se ilustra en el ANEXO A*).

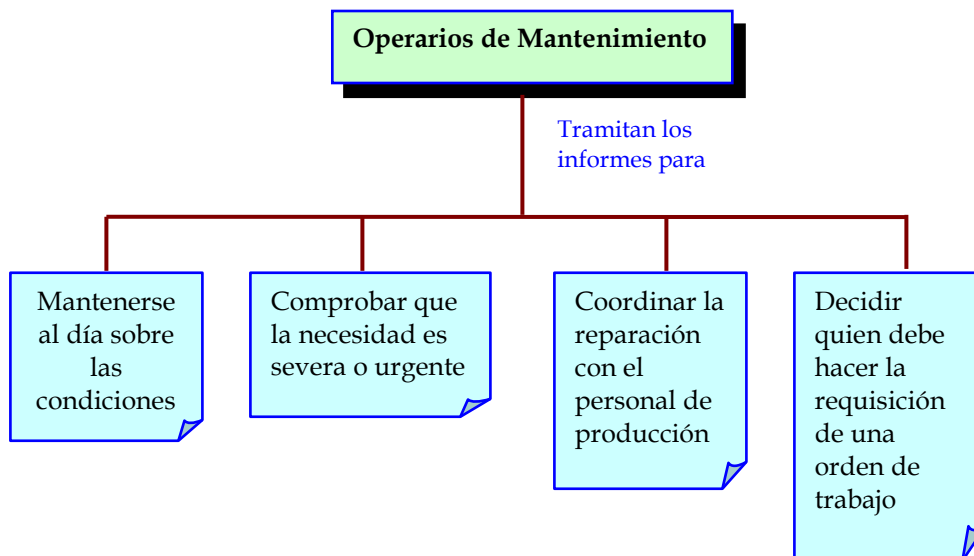
- **Registro de inspección técnica.** Los formatos que se realizaron para evaluar el taladro de voladura, están basados en el mantenimiento preventivo, en los cuales se describe la actividad y especificaciones de cada sistema del taladro, para que el personal de mantenimiento evalúe cada ítem y sintetice los comentarios correspondientes. Las especificaciones principales al desarrollar los formatos son las siguientes:
 - ✧ Inspección semanal (*Ver ANEXO B*)
 - ✧ Registro ejecución inspección 100 horas (*Ver ANEXO C*)
 - ✧ Registro ejecución PM 250 horas (*Ver ANEXO D*)
 - ✧ Registro ejecución PM 500 horas (*Ver ANEXO E*)
 - ✧ Registro ejecución PM 1000 horas (*Ver ANEXO F*)
 - ✧ Registro ejecución PM 2000 horas (*Ver ANEXO G*)

4.5.2 Informes de inspección. Su objetivo es reducir el aspecto administrativo al mínimo. Por lo tanto, no se deben abreviar los informes sólo por ahorrar tiempo, eso puede hacer que se pierdan todos los beneficios que se obtienen del costo de inspección.

La forma más sencilla del informe es la que puede usarse universalmente. Una forma típica tiene encabezados y espacio para llenarse con los datos generales sobre el departamento, máquina, y otros datos semejantes. Abajo hay espacios libres para artículos que necesiten atención. Puede usarse para todos los tipos de equipo. Cuando se usa dicha forma, se necesita una lista de comprobación que puede usarse varias veces para cada tipo de equipo.

4.5.3 Tramitación de los informes de inspección. Los informes completos de inspección son la base para las órdenes de mantenimiento, en la misma forma que las requisiciones surgen del personal de producción o mantenimiento. En la figura 56 se muestra el proceso de tramitación de los informes.

Figura 56. Proceso tramitación de los informes



Los informes de inspección realizados por el personal de mantenimiento, son revisados por el jefe de la flota de equipos y posteriormente son enviados a

los planeadores de mantenimiento para desarrollar las tareas pertinentes como son:

- ❖ En caso de presentarse una avería, el inspector genera una orden de trabajo que se muestra en la figura 58 para solucionar el problema.
- ❖ Con las rutas de inspección trazadas, se notifica al inspector verificador mecánico, quien llena en el formato de inspección que se muestra en la figura 57, las condiciones en que se encuentra el componente o subsistema.
- ❖ Al final de la ejecución del trabajo, se consignan en la hoja de vida del equipo, que se muestra en la figura 59, los detalles de los trabajos efectuados, los repuestos cambiados y el registro de condiciones y se cierra la O.T.
- ❖ Mensualmente el Director de mantenimiento evalúa los resultados de las inspecciones y toma las medidas necesarias.

Figura 57. Formato de inspección


 Carbones Colombianos del Cerrejón S.A.		FORMATO DE INSPECCIÓN										
CÓDIGO PLANO	EQUIPO	CÓDIGO REPUESTO	CALIFICACION									
FECHA	ACTIVIDAD	INFORME DE LA CONDICIÓN DE LA MÁQUINA	NORMAL			REGULAR		CRÍTICO				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Figura 58. Formato para órdenes de trabajo



 Carbones Colombianos del Cerrejón S. A.						ORDEN DE TRABAJO		No.	
2. FECHA		3. URGENCIA				4. FECHA TOPE EJECUCIÓN		5. IMPUTACIÓN	
		SOS	1	2	3	4	5		
6. VERIFICACIÓN		7. SECCIÓN SOLICITANTE				8. EQUIPO		9. CENTRO EJECUTOR	
10. Punto de avería:									
11. Descripción detallada									
12. CONDICIÓN DEL EQUIPO				13. EQUIPO DISPONIBLE				14. VO.BO.ING EJECUTOR	
En servicio				Siempre: _____					
Fuera de servicio				Se avisará: _____					
Con pérdida de producción				Fecha del: _____ al _____					
Sin pérdida de producción				En parada: _____					
Afecta la seguridad									
15. NUMERO OPERARIOS		16. FECHA DE LANZAMIENTO		17. FECHA TERMINACIÓN		18. CAUSA	19. VO.BO.ING EJECUTOR		
Instrucciones de trabajo									
Normas de seguridad									
Trabajo adicional									

Figura 59. Formato hoja de vida

 Carbones Colombianos del Cerejón S. A.		HOJA DE VIDA MAQUINARIA	
CÓDIGO PLANO	EQUIPO		CÓDIGO REPUESTO
FECHA	DETALLE DE LOS TRABAJOS EFECTUADOS – REGISTRO DE CONDICIONES		

5. APLICACIÓN RCM A LOS TALADROS DE VOLADURA

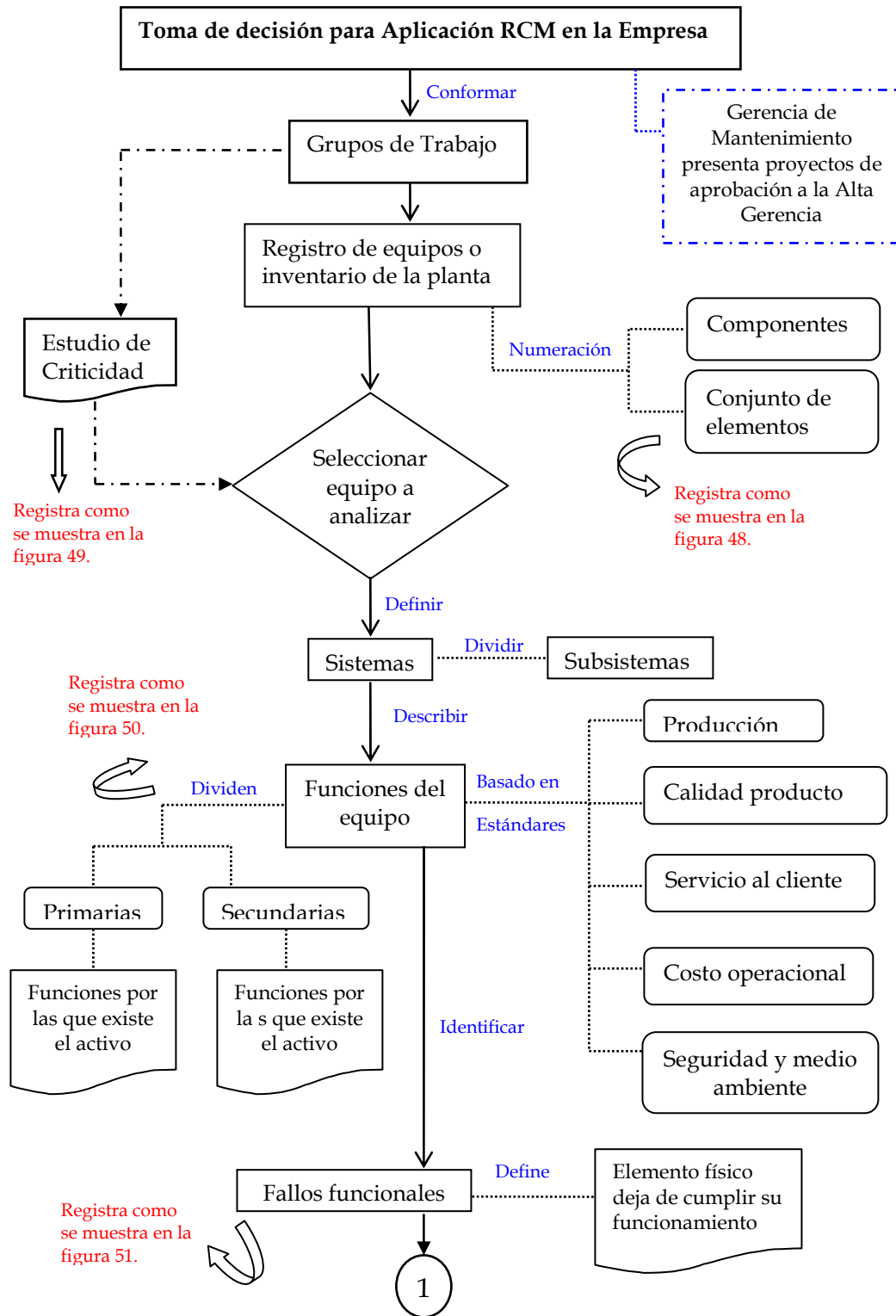
Con base en el desarrollo e implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), expuesto con anterioridad en el Capítulo 3., de estas memorias, se pretende describir la aplicación de RCM a los taladros de voladura.

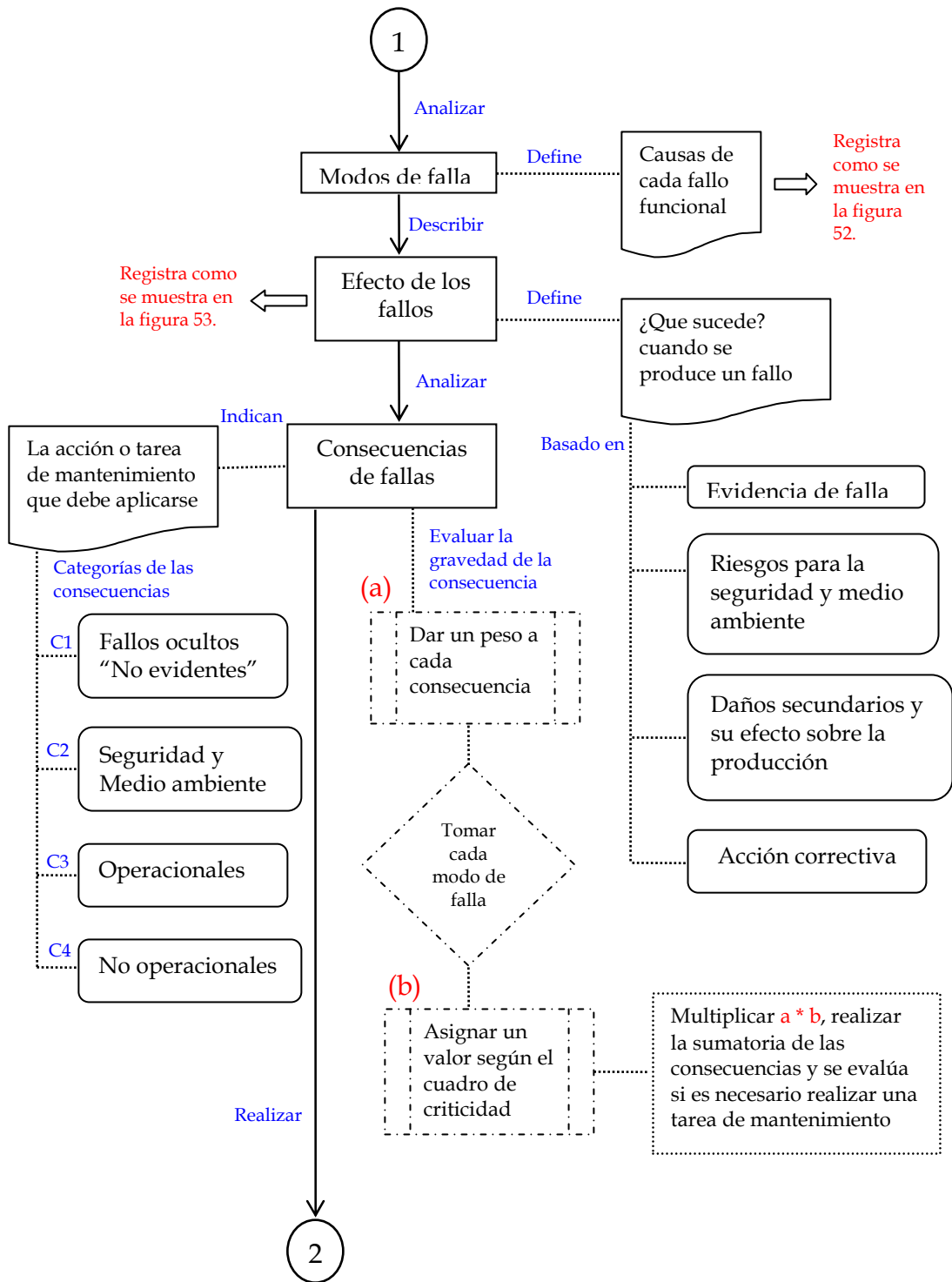
En este capítulo se tratará: el análisis de criticidad para el equipo; el contexto operacional de los sistemas más críticos; el desarrollo de la fase II para aplicar RCM (*Ver capítulo 3*), especificando en las diferentes hojas de trabajo de información, las funciones, los fallos funcionales, los modos de falla y los efectos de falla de los sistemas del taladro; se aplicará la lógica de RCM para realizar los diferentes planes de mantenimiento.

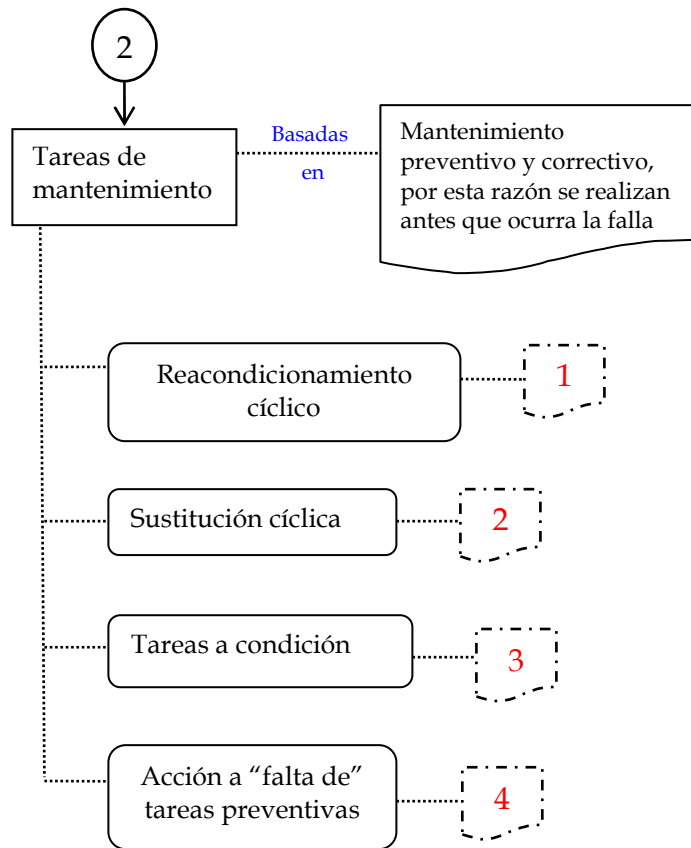
Para la aplicación del RCM a los taladros de voladura, se utilizó la metodología descrita en el capítulo 3, la información específica del equipo, la experiencia de los operarios y del personal de mantenimiento. La implementación del sistema RCM lleva consigo una serie de fases y actividades asociadas, las cuales si se abordan de manera secuencial resultan fáciles de realizar, revisar y documentar. De acuerdo con esto, a continuación se describen dichas fases, sus actividades y los elementos que fueron necesariamente tenidos en cuenta para lograr dicho fin.

En la figura 60 se muestra el diagrama para la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) que se utiliza en la implementación de éste sistema.

Figura 60. Diagrama para aplicación RCM.







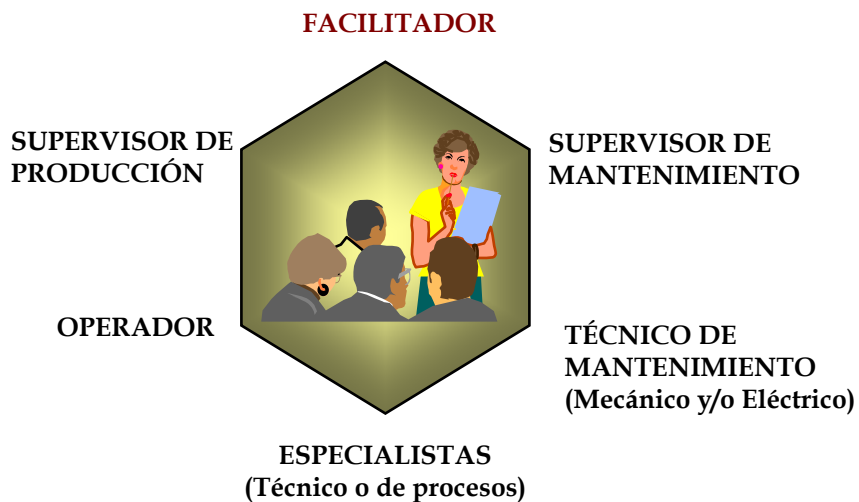
1. Equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas independientemente de su estado en ese momento.
2. Reemplazar un equipo o componente a frecuencias determinadas independientemente de su estado en ese momento.
3. Chequear los equipos si están fallando, de manera que se pueda tomar medidas para prevenir el fallo funcional.
4. Consiste en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

5.1 GRUPO DE TRABAJO PARA RCM

Una de las primeras actividades (*figura 60*) para una excelente aplicación de RCM es conformar un grupo de trabajo. El grupo de trabajo es establecido y debe incluir una persona de la función de mantenimiento, operación y un facilitador especialista en RCM. El grupo de proyecto RCM define y clasifica los objetivos y el alcance del análisis, requerimientos y políticas de criterio de aceptación con respecto a la seguridad y protección del medio ambiente.

El equipo de trabajo debe ser multidisciplinario altamente proactivo, conformado por personas de los departamentos de mantenimiento, operaciones y especialistas, como se muestra en la figura 61. Estas personas deberán estar altamente familiarizadas con los temas que les competen. El grupo será dirigido por un facilitador que podrá o no provenir de los departamentos nombrados anteriormente. El mejoramiento del desempeño implica contribuciones en actitudes, organización, conocimiento, patrones culturales y resultados.

Figura 61. Grupo de trabajo para RCM



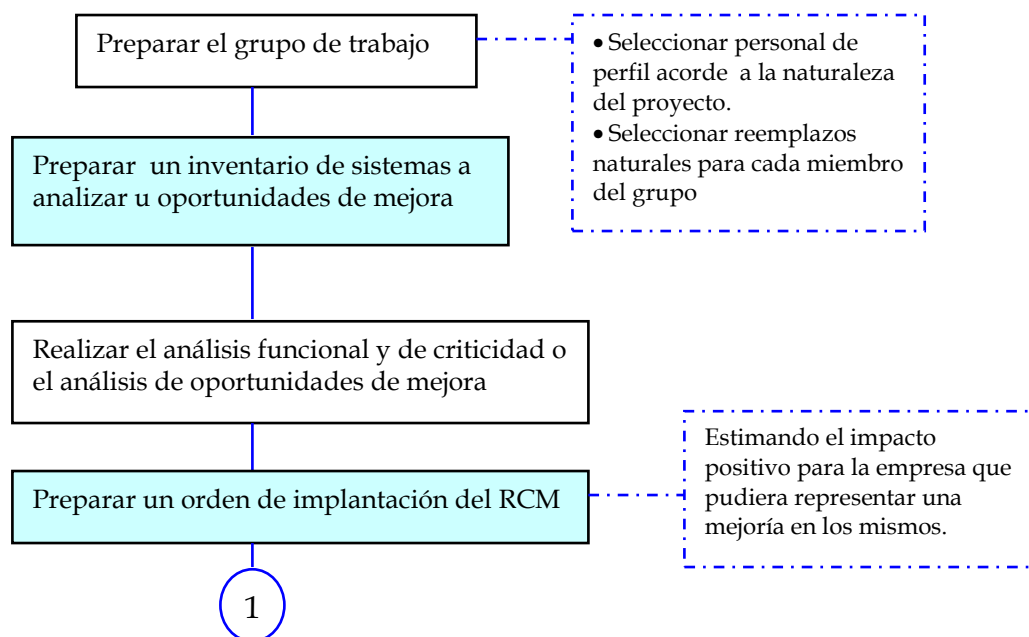
5.1.1 Funciones del grupo de trabajo para RCM

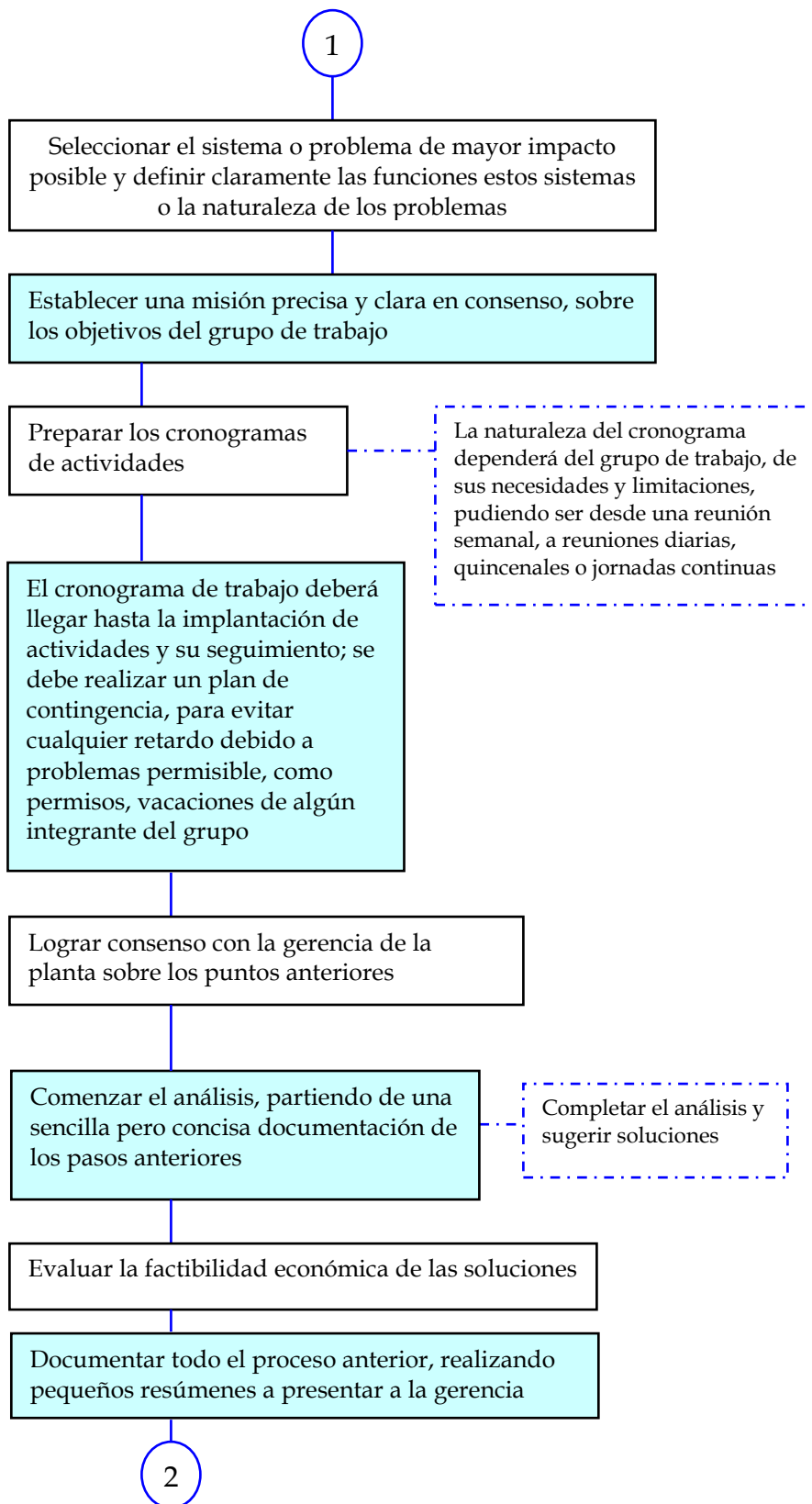
Las funciones del grupo de trabajo están enmarcadas en realizar actividades de mejoramiento continuo en las operaciones de la empresa. Estas actividades se dividen en:

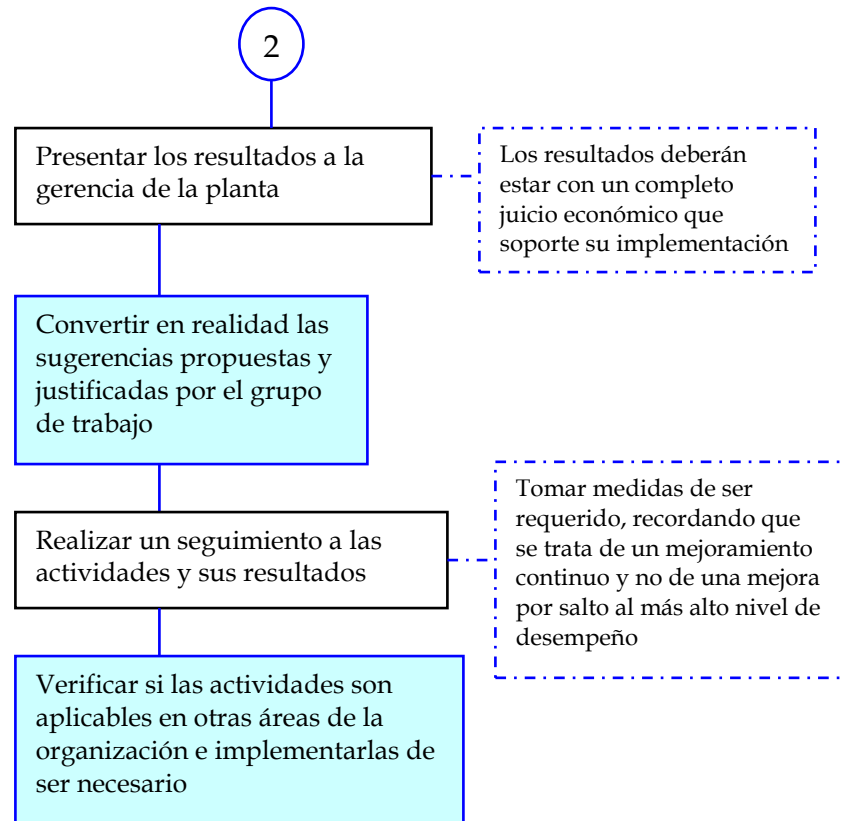
- Actividades Reactivas: Análisis Causa Raíz, solución de problemas.
- Actividades preventivas: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Con el análisis funcional y análisis de criticidad de equipos.
- Actividades previas

Estos análisis nos permiten conocer el orden de implantación de las técnicas a usar, para garantizar un impacto significativo en los sistemas estudiados. Las actividades a realizar por el grupo de trabajo se describen en la figura 62.

Figura 62. Actividades a realizar por el grupo de trabajo







5.1.2 Facilitador para RCM

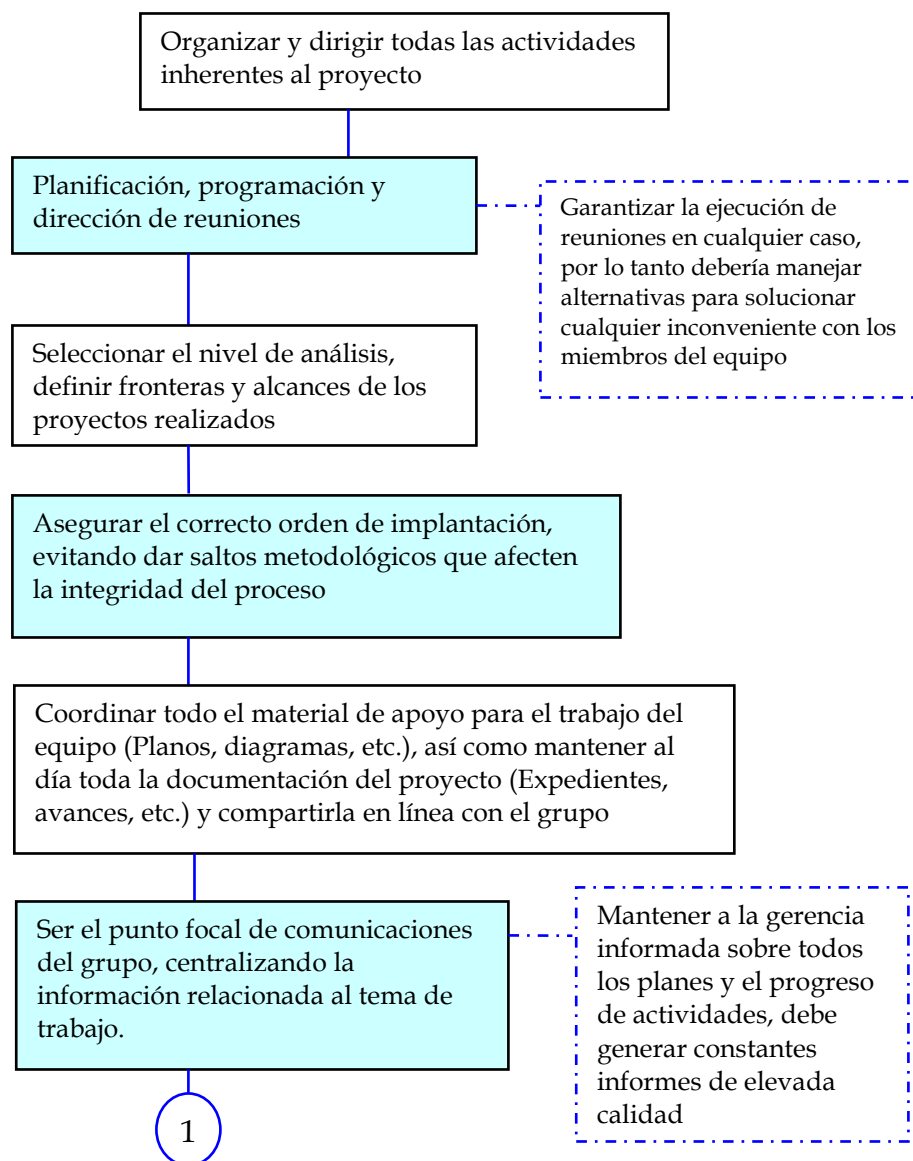
El facilitador es el líder del grupo de trabajo, su función básica consiste en guiar y facilitar el proceso de implantación del RCM, asegurando que éste sistema se realice de forma ordenada y efectiva. Las actividades que debe realizar el facilitador se muestran en la figura 63.

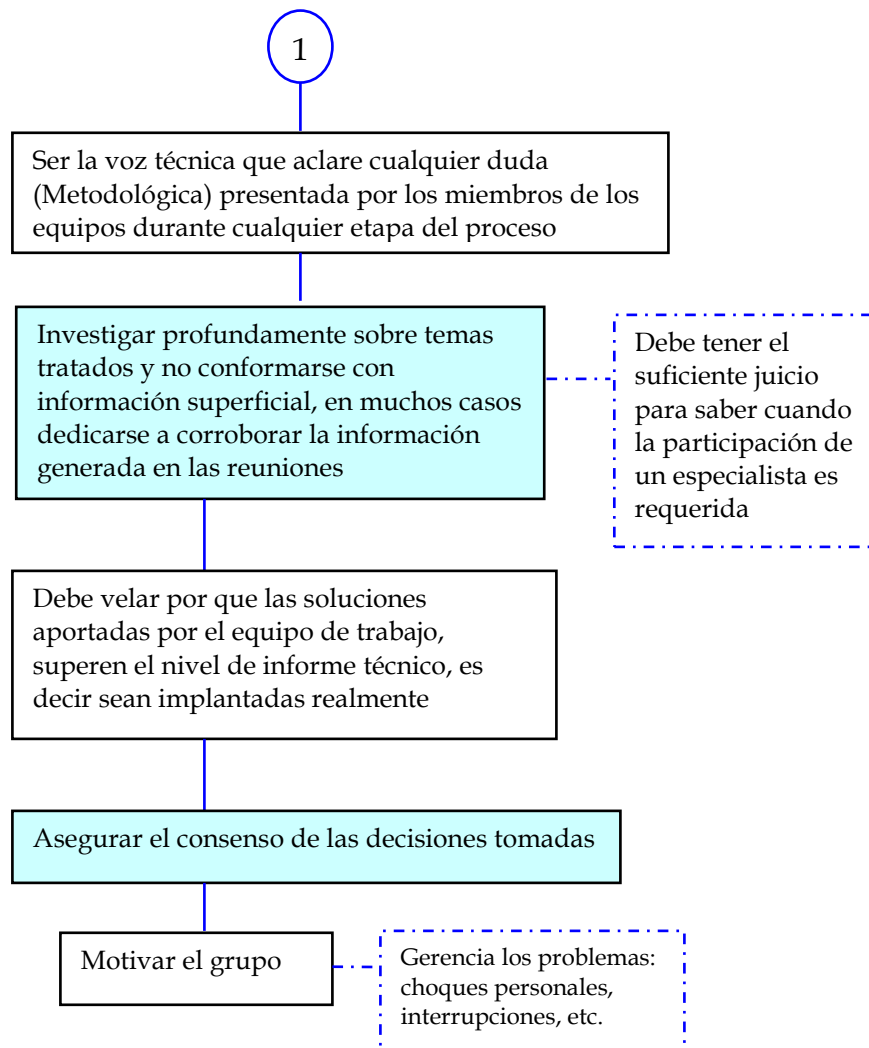
El perfil esperado del facilitador se basa en:

- Amplia capacidad del análisis
- Alto nivel técnico

- Alto desarrollo de actividades personales (liderazgo, credibilidad, seguridad y confianza)
- Habilidades para conducir reuniones de trabajo (facilidad para comunicarse)

Figura 63. Actividades que debe realizar el facilitador

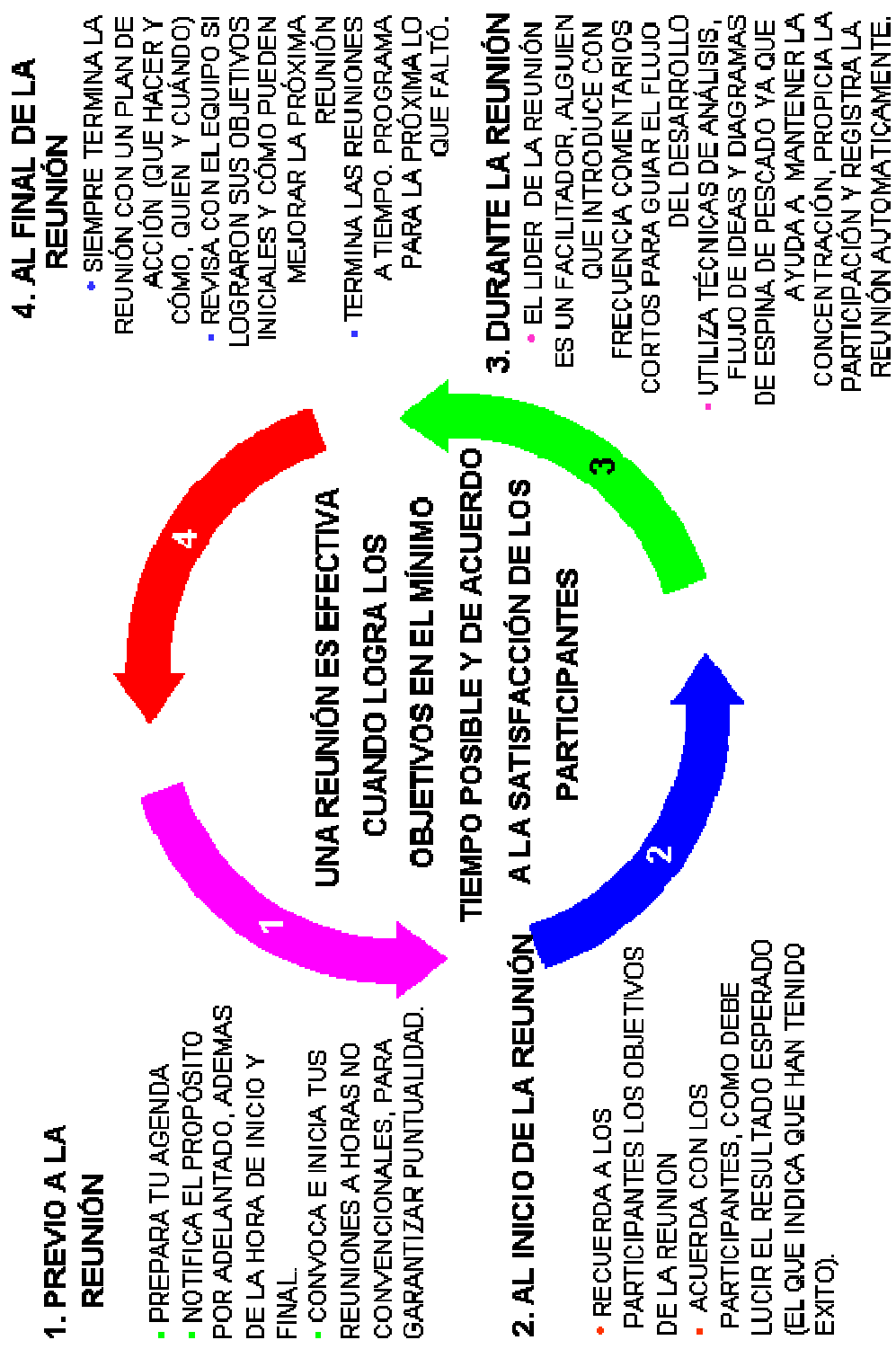




5.1.3 Reuniones para RCM

Se debe garantizar que el equipo de trabajo tenga objetivos comunes y conozca “grosso modo” la metodología y el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En la figura 64 se especifican los pasos que se aplican para realizar las reuniones de trabajo de RCM.

Figura 64. Pasos para las reuniones de RCM.



5.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA EL TALADRO DE VOLADURA

Para la aplicación del análisis de criticidad a los taladros de voladura, se utilizan los procedimientos descritos en el capítulo 3.

- ❖ **Listado de sistemas a estudiar dentro del análisis de criticidad.** Los sistemas incluidos en éste análisis, están divididos por los elementos que los integran, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Sistemas taladro de voladura.

SISTEMA	ELEMENTOS	FUNCIÓN
Sistema Propel	Mando final, Orugas, Motor hidráulico, rueda guía, estructura de acero (Bastidor) (<i>Sistema de transmisión</i>)	Realizar los movimientos de traslación del taladro
Sistema de perforación	Rotaria, motor hidráulico (<i>Sistema de rotación</i>)	Realizar los movimientos hacia arriba o abajo para la perforación
	Poleas, sprockets, guayas, cadenas, cilindros de alimentación (<i>Sistema alimentación</i>)	
Sistema de accesorios	Llave de mordaza, cargador de tubos, cilindro hidráulico, motor reductor, cilindros de nivelación (3)	Elementos que son necesarios para realizar las perforaciones.
	Bomba, tanque de grasa, filtro regulador, lubricador (<i>Sistema centralizado de lubricación</i>)	

SISTEMA	ELEMENTOS	FUNCIÓN
Sistema de potencia	Motor KTA19C, tanque combustible <i>(Sistema motriz)</i>	Los que generan y transmiten la potencia que se requerirá para los otros sistemas
	Caja de engranajes (PTO)	
	Compresor <i>(Sistema neumático)</i>	
	Enfriadores hidráulicos, tanque ATF	
Sistema hidráulico	Bombas principales (2)	Suministrar el fluido necesario para los componentes del taladro
	Bomba de accesorios	
Sistema eléctrico	Lámparas, sistema de protección	Genera, conduce y transforma la energía eléctrica para controles del equipo
Estructura	Chasis, torre (Mástil)	Soporta los componentes del taladro

La teoría fundamental sobre los sistemas que componen los taladros de voladura se explican en el capítulo 2.

❖ **Recolección de datos.** El siguiente paso, es realizar el registro de evaluación para el análisis de criticidad como se muestra en la figura 65, analizando los diferentes sistemas del taladro de voladura descritos anteriormente. El registro que se desarrolla se basó en los criterios de evaluación de criticidad (*Ver capítulo 3*). Posteriormente se ubicaron los resultados en la matriz de criticidad, como se muestra en la figura 66 y se ordenaron de mayor a menor grado de criticidad los sistemas analizados en la lista jerarquizada, como se ilustra en la figura 67.

Figura 65. Registro de evaluación para el análisis de Criticidad


 Carboenergía Colombiana del Cauca S. A.		SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO					PROPOSITO DE ESTE TRABAJO:		
		PROGRAMA DE INTEGRIDAD MECÁNICA					La información contenida en este formato será para la jerarquización de los diferentes equipos de la mina " La Caypa" con el propósito de que a los equipos críticos se le aplique todos los procedimientos de Integridad Mecánica.		
		FORMATO DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
TALADRO DE VOLADURA		DM45-EXL900							
FUENTES DE INFORMACIÓN		Equipo natural de trabajo, Bitácora de mantenimiento, Tarjeta de costos, Tarjeta de inventario.							
No	SISTEMA	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL	
1	Sistema de propel	2	7	2	2	5	21	42	
2	Sistema de perforación	2	10	2	2	8	30	60	
3	Sistema de accesorios	2	10	2	2	8	30	60	
4	Sistema de potencia	3	10	4	2	8	50	150	
5	Sistema hidráulico	3	10	4	2	8	50	150	
6	Sistema eléctrico	2	7	1	1	1	9	18	
7	Estructura	1	1	1	2	8	11	11	

Figura 66. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de Criticidad

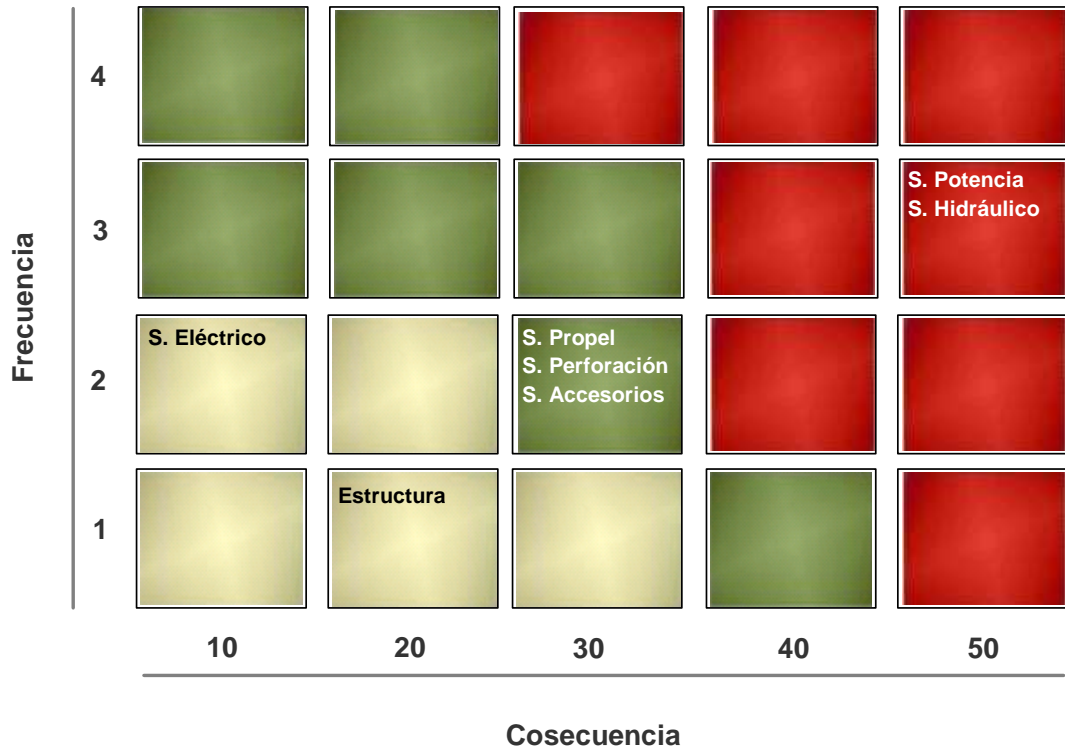
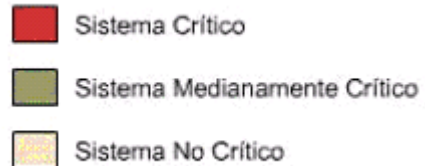


Figura 67. Lista Jerarquizada de Equipos

SISTEMAS	CRITICIDAD TOTAL
Sistema Hidráulico	150
Sistema de Potencia	150
Sistema de Accesorios	60
Sistema de Perforación	60
Sistema Propel	42
Sistema Eléctrico	18
Estructura	11



5.3 VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS RCM

Para trabajar la fase II del RCM (*Ver capítulo 3*) en los taladros de voladura, se seleccionan los sistemas más críticos del análisis de criticidad realizado anteriormente. Específicamente se realizaron los estudios para el sistema hidráulico y del sistema de potencia se analizó el subsistema de compresor (Neumático).

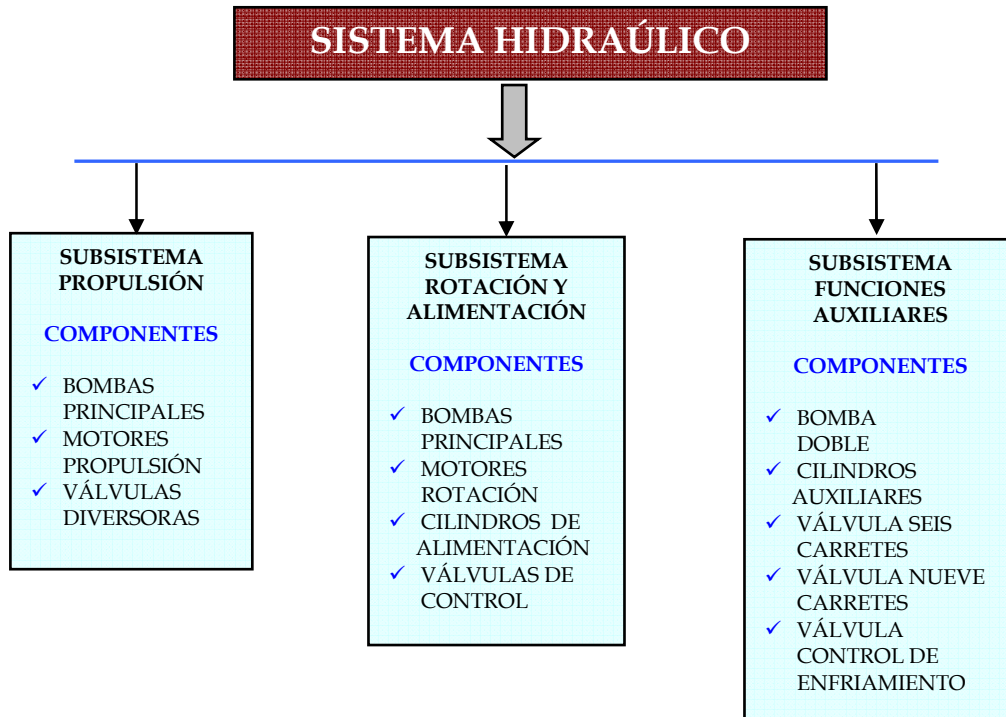
5.3.1 Definición de los sistemas del taladro. A continuación se define primero el sistema hidráulico, describiendo los diferentes subsistemas que lo componen; seguidamente se especifica el subsistema de compresor (Neumático).

5.3.1.1 Sistema Hidráulico. Los taladros de voladura modelo DM-45 son accionados hidráulicamente. La potencia para accionar el sistema hidráulico es suministrada por un motor diesel a través de una caja de engranajes de tres salidas. Las tres bombas hidráulicas (2 bombas principales y 1 bomba de accesorios) convierten la energía mecánica de rotación del motor en energía hidráulica que se puede utilizar en motores y cilindros para las tareas de perforación y propulsión. En la figura 68 se muestra la división del sistema hidráulico en subsistemas y sus componentes.

❖ **Subsistema propulsión.** (*Se analiza en el capítulo 2, sistema propel*); la operación en el circuito de propulsión se basa en que las bombas principales transmiten la presión y fluido necesario a los motores de propulsión, ya que cada uno de estos acciona el sistema de transmisión para cada oruga. Los sistemas de transmisión (dos bombas y dos motores) permiten que cada oruga opere independientemente una de la otra. Las

orugas pueden girar a diferentes velocidades o diferentes direcciones para una mayor flexibilidad.

Figura 68. Partes del sistema hidráulico

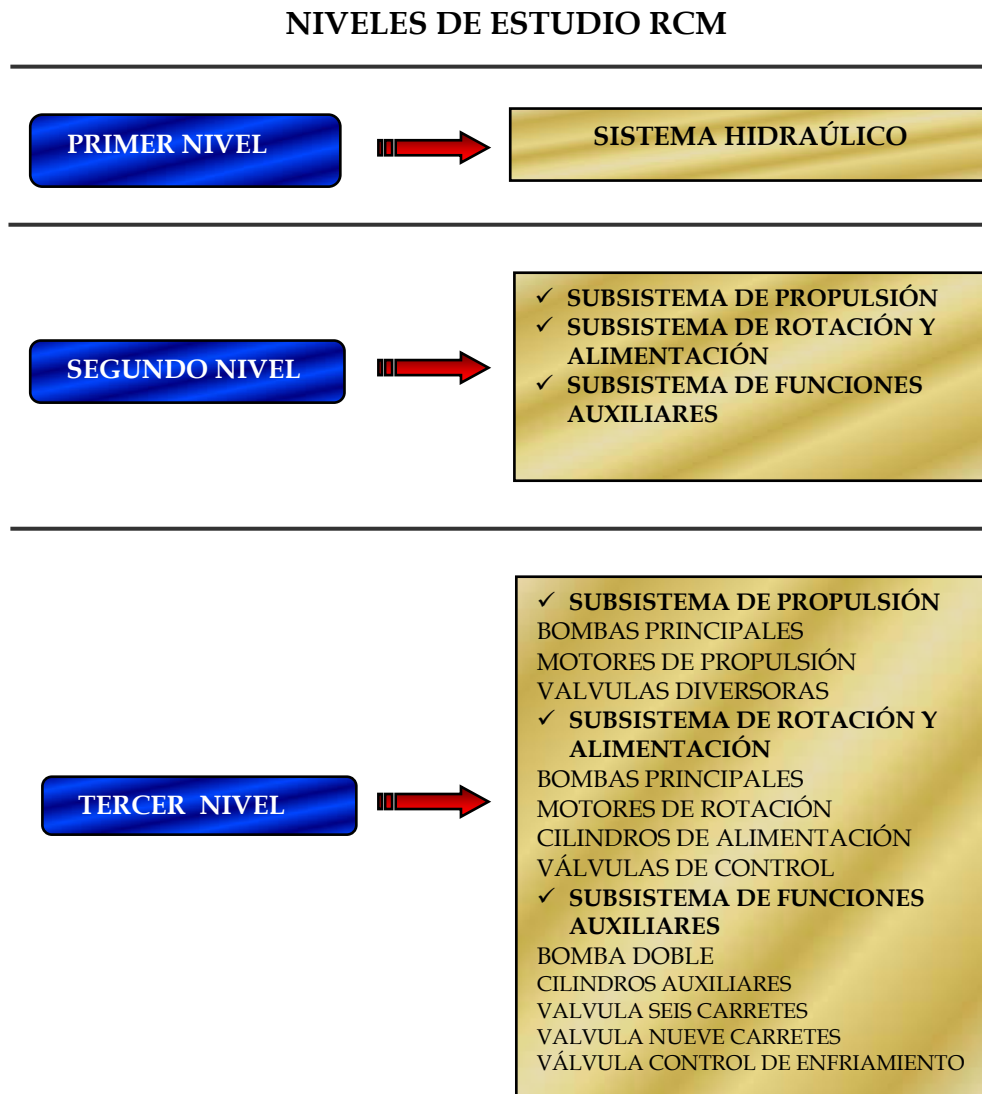


La descripción de las bombas principales y la bomba doble se dan en el capítulo 2 (*Sistemas hidráulicos*).

- ❖ **Subsistema de rotación y alimentación.** La descripción de la operación para la rotación y alimentación en la perforación se analizan en el capítulo 2 (*Sistema de perforación*).
- ❖ **Subsistema funciones auxiliares.** Ver descripción en el capítulo 2 (*Sistema de accesorios*).

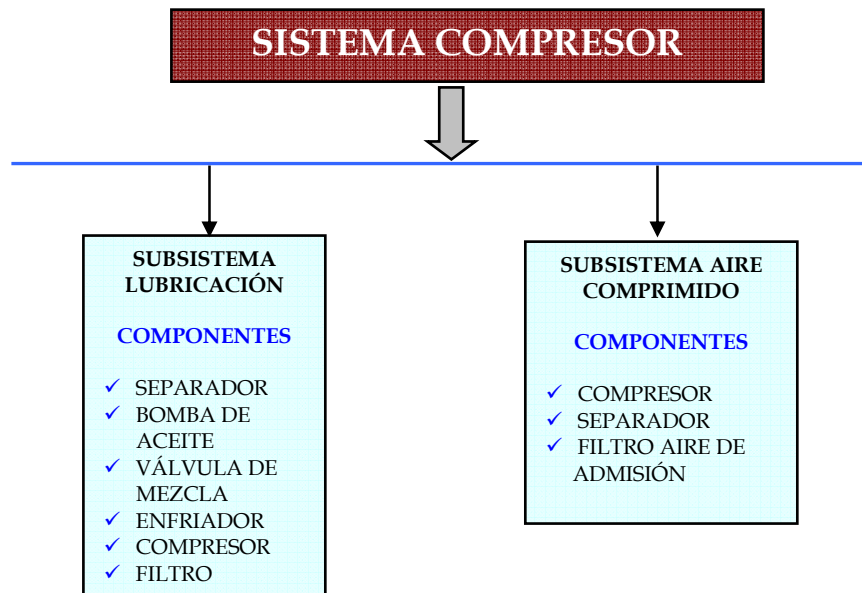
El estudio RCM que se realizó al sistema hidráulico, fue un estudio de tercer nivel, como se muestra en la figura 69. En las hojas de información desarrolladas más adelante se ilustra el análisis de la fase II de RCM para los componentes de los subsistemas.

Figura 69. Niveles de estudio RCM Sistema hidráulico



5.3.1.2 Sistema Compresor. El sistema de compresor del taladro de voladura cumple dos funciones. Primero, es un sistema de lubricación y segundo, es un sistema de aire comprimido, como se muestra en la figura 70. El sistema de lubricación consiste en un separador, una bomba de aceite, un enfriador con una válvula de mezcla un filtro, como se ilustra en la figura 71.

Figura 70. Partes del sistema compresor

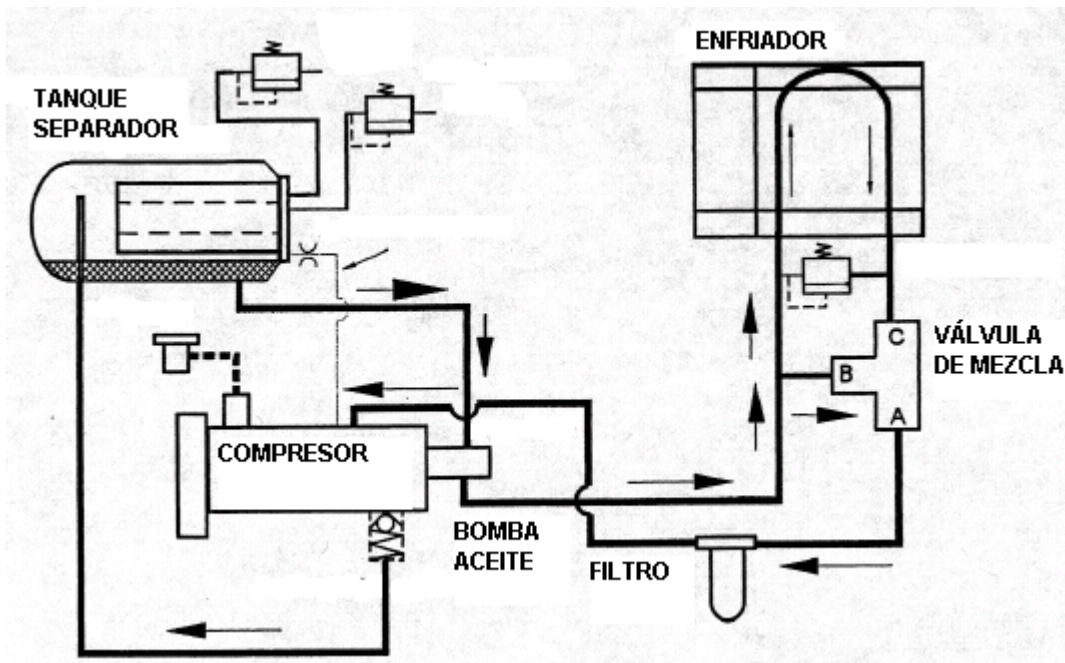


- ❖ **Separador y bomba de aceite (Sistema de lubricación).** El aceite es almacenado en el separador y sale del fondo de éste, a la bomba de aceite a través de la línea “A” cuando el compresor está funcionando. La bomba de aceite es accionada por los rotores del compresor y es una bomba de tipo de engranajes de desplazamiento positivo. Por último el aceite sale de la bomba a la entrada de la válvula de mezcla.

- ❖ **Válvula de mezcla y enfriador.** Hay tres direcciones que el flujo de aceite puede tomar cuando alcanza la válvula de mezcla a través de la línea “B”. Uno el aceite fluye directamente de “B” a “A”, debido a que el termostato

está abierto y hay una baja restricción a través de la válvula. Después que el compresor ha operado y el aceite empieza a calentarse, el termostato en "B" empieza a cerrarse, forzando a pasar parte del aceite a través del camino dos (2), al fondo del enfriador. Esto permite que el aceite fluya desde la parte superior del enfriador a través de C" a "A" en la válvula de mezcla. Cuando el aceite está sobre los 150 F, el termostato en "B" se cierra completamente forzando al aceite ir de "C" a "A" a través del enfriador. No hay flujo a través de "B" si la presión diferencial entre la entrada y la salida del enfriador excede los 50 PSI, la válvula de alivio se abrirá y permitirá que el aceite fluya a través del camino tres (3) desde la bomba de aceite a través de la válvula en "C" y salir por "B", bypaseando el enfriador.

Figura 71. Circuito lubricación del sistema compresor



- ❖ **Compresor (Sistema de lubricación).** El aceite limpio y frío entra al manifold y es dirigido a los rotores y rodamientos. Este aceite lubrica el compresor, ayuda al sello y enfría el aire comprimido. El aceite es forzado fuera de la descarga con el aire comprimido y es dirigido al separador a través de la línea "D". Una válvula check de una vía evita que el aceite o el aire comprimido regrese al compresor cuando la perforadora es detenida.

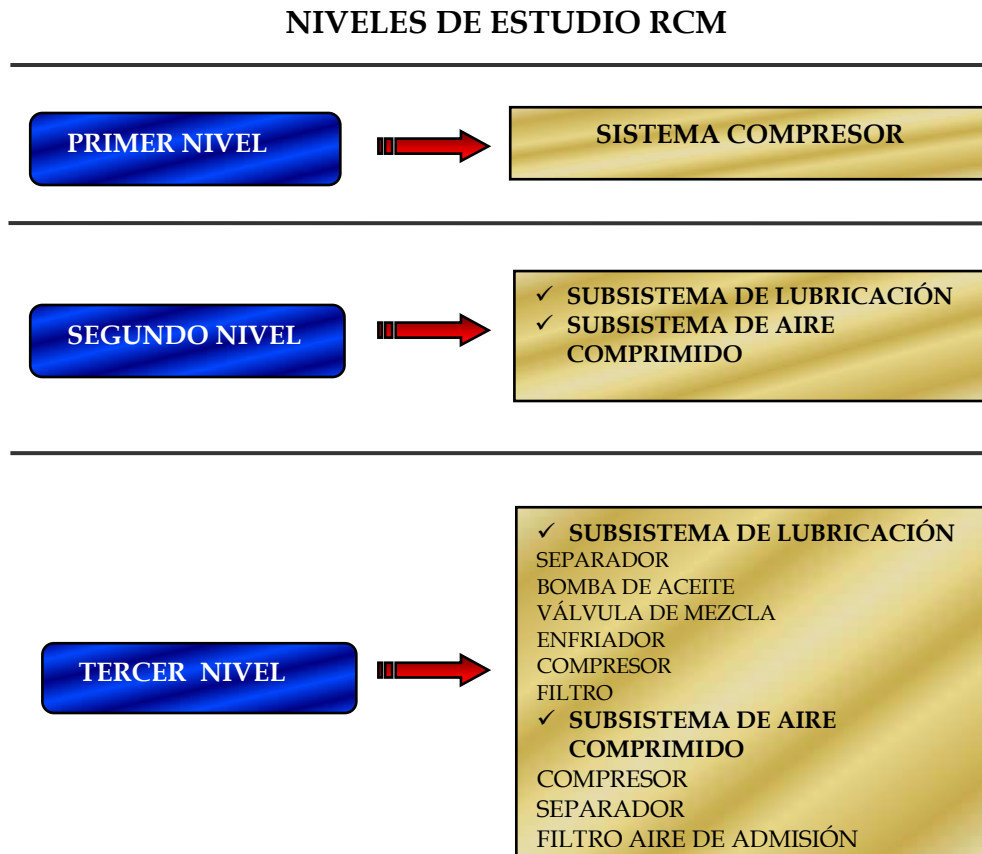
El sistema de aire comprimido consiste en algunos de los mismos elementos pero tienen distintas funciones para la compresión del aire que para la lubricación del compresor.

- ❖ **Filtro aire de admisión.** El aire atmosférico entra a un filtro de aire del tipo seco donde el 99.9% de los contaminantes son retenidos. La entrada de aire limpio al compresor es controlada por una "válvula de mariposa". Cuando la válvula está abierta, el aire fluye a la caja de los rotores y es comprimido. Cuando está cerrada, se crea un vacío bajo el área de entrada.
- ❖ **Compresor (Sistema de aire comprimido).** El compresor está diseñado para sostener dos rotores uno macho y uno hembra. Los rotores giran hacia afuera uno del otro y cualquier aire que es empujado a la entrada forma un circuito alrededor de la parte exterior de los rotores. El aire entra en la parte superior y es descargado por el fondo del compresor.
- ❖ **Separador (Sistema de aire comprimido).** El tanque separador actúa como un estanque para el aceite y un acumulador de presión para el aire comprimido. En tanto la mezcla aire/aceite entra al separador a través de una tubería angular, la fuerza centrífuga hace que el aceite pase por la

parte interior del tanque cilíndrico y gire hacia abajo hasta que se junta con el aceite que ya está en el fondo del tanque.

Al sistema compresor, se le realizó un estudio RCM del primero y segundo nivel, tomando los subsistemas de lubricación y aire comprimido, como se muestra en la figura 72.

Figura 72. Niveles de estudio RCM Sistema compresor



5.4 RESULTADOS DEL ESTUDIO RCM

Los resultados del estudio de RCM realizado a los taladros de voladura, se presentan de la siguiente manera:

1. Se definieron los diferentes sistemas y componentes del taladro (Tabla 8).
2. Se realizó el estudio de criticidad respectivo (*figura 65*), aplicando el modelo básico de criticidad para los diferentes sistemas del taladro (*Figura 66 y 67*).
3. Se establecieron los niveles de estudio RCM para cada sistema y componente (*Figura 70 y 72*).

A continuación se desarrollará la fase II (*Figura 30, Capítulo 3*) aplicada a los taladros de voladura. Ésta consiste en:

1. Definición de las funciones de los diferentes componentes
2. Descripción de la fallas funcionales de los respectivos componentes
3. Descripción de los modos y efectos de falla de los componentes del taladro de voladura.

Los ítems mencionados anteriormente, se desarrollaron en la hoja de información de trabajo RCM, tomando como referencia el sistema hidráulico y el sistema de compresor, ilustrado en la tabla 9 y 10.

El siguiente paso en el proceso de estudio de RCM para los taladros de voladura es la aplicación de la lógica de RCM (*Figura 33*), la cual se fundamentó en analizar las consecuencias de falla y elegir las tareas de mantenimiento.

Tabla 9. Hoja de información RCM del Sistema Hidráulico


HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM					
 Carbones Colombianos del Cerrejón S. A.		SISTEMA	SISTEMA HIDRÁULICO		
		SUBSISTEMA	BOMBAS PRINCIPALES	HOJA	1 de 2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA		
1 Suministrar un caudal de 62,8 gpm a una presión de 3800 psi con una velocidad de 2100 RPM	A No suministra caudal	1 Aire en el fluido	* Ruido anormal en la bomba, se filtra aire en la línea de succión, se detalla bajo nivel de fluido en el tanque hidráulico.		
		2 Eje desalineado	* Deformación en el montaje		
		3 Cargas excesivas	* Excesivo desgaste en bomba		
		4 Partículas contaminantes en el fluido	* Filtro del respiradero se daña, provoca pequeñas aberturas en el depósito de aceite y se calienta el fluido hidráulico		
		5 Falta de fluido en la bomba	* Igual que modo de falla 1A3		
	B Produce la presión menor de 3800 psi	1 Válvula de alivio a una presión muy baja	* Se detiene la rotación		
		2 Filtros obstruidos en la succión	* El taladro pierde fuerza en sus movimientos		
		3 Bajo nivel de aceite	* Respuesta de la bomba es muy lenta		

Tabla 9. Hoja de información del Sistema Hidráulico (Continuación)


HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM					
 Carbones Colombianos del Cerrejón S. A.		SISTEMA	SISTEMA HIDRÁULICO		
		SUBSISTEMA	BOMBAS PRINCIPALES	HOJA	2 de 2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA		
	C Baja o cero presión de carga D La presión neutra se mantiene incluso cuando se envía el desplazamiento al máximo E Pérdida o baja de la presión normal en un sentido F La bomba no regresa a la posición neutral	1 Sistema con bajo nivel de aceite 2 Brazo del controlador de la bomba defectuoso 3 Válvula de alivio en la bomba o múltiple del motor dañado o abierto 1 Accionador del controlador de la bomba desconectado 1 Válvula de alivio de alta presión defectuosa 2 Válvula check dañada 1 Controlador del carrete atorado o pegado en una dirección, o desajustado	* El sistema no opera en ambas direcciones * Se pierde fuerza en los movimientos ascendentes y descendentes del cabezal giratorio (rotaria) * El perforador pierde fuerza para realizar los movimientos de traslación de un punto a otro * El taladro no opera en ambas direcciones * El sistema opera en una sola dirección * El sistema opera en una sola dirección * El sistema opera en una sola dirección		

Tabla 10. Hoja de Información RCM Sistema compresor


HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM				
 Carbones Colombianos del Cerrejón S. A.		SISTEMA	PAQUETE DE POTENCIA	
		SUBSISTEMA	COMPRESOR	HOJA
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	
1 Suministrar un caudal de aire filtrado de 750 - 1050 cfm a una presión por el orden de 110 psi	A No suministra aire	1 Rompe acople motor - compresor 2 Válvula mariposa no esté abriendo completa 3 Fugas de aire en el sistema 4 Restricción en la admisión del compresor 5 Elemento separador obstruido 6 Válvula anti-ruido permanece abierta, cuando el compresor está en carga	* Recalentamiento en la broca, el proceso de perforación no se puede realizar * Caída de la presión de trabajo para la perforación * Frena la rotación para la perforación, y el material rodea la tubería de avance en la perforación * Recalentamiento en la broca, baja capacidad del compresor (cfm) * Paso de aceite a la broca y a las líneas líneas de aire afectando notablemente la limpieza que realizan sus filtros ya que estos se taponan por la contaminación polvos - aceite * Rendimiento de la perforación disminuye para realizar los diferentes barrenos el sistema se coloca lento	

Tabla 10. Hoja de Información RCM Sistema compresor (Continuación)



HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM			
 Carbones Colombianos del Cerrejón S. A.	SISTEMA		PAQUETE DE POTENCIA
	SUBSISTEMA		COMPRESOR
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA
	B Suministra caudal de aire menor a 750 cfm	7 Set de engranajes en el air-end no son los correctos	* Revoluciones altas o bajas en el sistema, se da un recalentamiento en el circuito por lo tanto el compresor necesita mayor potencia del motor para entregar los mismos cfm
		1 Filtro de combustible saturado en el motor diesel	*Fluctuaciones de las RPM en el motor y el acople motor compresor absorbe el torque y asi su desgaste se incrementa
		2 Válvula anti-ruido no abre en la condición descarga	* Proceso de perforación se coloca lento
		3 Switch defectuoso	* Recalentamiento en la broca
		4 Excesivo polvo en el aire de la operación de perforación	* Compresor no entrega la rata de aire suficiente, se baja la presión y el rendimiento de la perforación
		5 Conexiones malas o defectos en el cableado	* Switch de temperatura del motor dañado

Tabla 10. Hoja de Información RCM Sistema compresor (Continuación)

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM				
 Carbones Colombianos del Cerrejón S. A.		SISTEMA	COMPRESOR	
		SUBSISTEMA	LUBRICACIÓN Y DE AIRE COMPRIMIDO	HOJA
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	
1 Lubricación del sistema	A Lubricación es mínima B Fuga de aceite a la línea de descarga	1 Separador obstruido	* Sistema de aceite de lubricación y enfriamiento del compresor obstruido	
		2 Enfriamiento de aceite saturado con barro o depósitos de lacas	* Recalentamiento en el sistema	
2 Comprimir el aire para el sistema	A No se comprime el aire	1 Orificio tapado en la línea de barrido	* Excesivo consumo de aceite lubricante del compresor	
		2 Elemento separador deteriorado	*Tiene el mismo efecto de 1B1	
		1 La válvula mariposa se traba en el alojamiento	* La válvula mariposa no se re-abre luego que el sistema baja de la presión de regulación (con el compresor en carga)	
		2 El orificio en la válvula de alivio de 50 psi está obstruido	*Tiene el mismo efecto de 2A1	
		3 La válvula de mariposa no cierra lo suficiente	* La presión del sistema continua subiendo luego que la válvula mariposa ha cerrado	

5.5 APLICACIÓN LÓGICA RCM A LOS TALADROS DE VOLADURA

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 propuesta.

- ❖ Consecuencias para la seguridad física.
- ❖ Consecuencias para el medio ambiente.
- ❖ Consecuencias operacionales.
- ❖ Consecuencias no operacionales.
- ❖ Fallas ocultas que produzcan fallas múltiples.

Se asignan después una escala de valoración para cada consecuencia que se muestra a continuación. Se hace una evaluación para analizar si la pérdida de la función por un modo de falla puede afectar la salud, lesionar u ocasionar una pérdida humana.

Tabla 11. Tabla de consecuencias para la seguridad física.

Escala de valoración para consecuencias de la seguridad física.		
Escala	Definición	Valor
No afecta	No hay ningún tipo de lesión ni la muerte.	0
Insignificante	Afecta como máximo a una persona, dejando lesiones insignificantes, que no producen incapacidad ni la muerte.	1
Secundario	Afecta como máximo tres personas dejando lesiones insignificantes que pueden generar incapacidad parcial, pero en ningún momento la muerte.	2

Grave	Afecta hasta siete personas dejando lesiones insignificantes o graves que pueden generar incapacidad parcial o de por vida, pero sin generar la muerte.	3
Muy grave	Afecta más de siete personas pudiendo dejar lesiones muy graves que pueden generar incapacidad temporal, de por vida o la muerte.	4

Se hace una evaluación para analizar si la pérdida de la función por un modo de falla particular puede incurrir en una infracción a una regulación relacionada con el medio ambiente.

Tabla 12. Consecuencias para el medio ambiente.

Escala de valoración para consecuencias en el medio ambiente.		
Escala	Definición	Valor
No afecta	No afecta el medio ambiente.	0
Insignificante	Puede afectar en un bajo grado a bosques, animales, etc., sin ser sancionados disciplinariamente por entidades gubernamentales.	1
Secundario	Afecta en un mayor grado los recursos naturales, pero sin poner en peligro seres vivientes en vía de extinción. Es controlado por personas especializadas y no produce sanciones económicas.	2
Grave	Afecta en alto grado los recursos naturales, poniendo en peligro seres vivos en vía de extinción. Se requiere de entes externos para reparar el daño. Con sanciones económicas altas.	3
Muy grave	Indisponibilidad total de los recursos naturales, afectando seres vivos en vía de extinción con daños irreparables. Con altísimas sanciones económicas por parte de entidades gubernamentales.	4

Se hace una evaluación para analizar si la pérdida de la función por un modo de falla particular que puede afectar la perforación y la producción de energía, teniendo así pérdidas por la indisponibilidad de los taladros, por tener que reacondicionar y pagar mantenimiento más altos.

Tabla 13. Consecuencias operacionales.

Escala de valoración para consecuencias operacionales.		
Escala	Definición	Valor
No afecta	No tiene incidencia sobre la perforación y por ende, de las condiciones operacionales de los sistemas de los taladros.	0
Insignificante	Tiene poca incidencia sobre los sistemas de rotación, propulsión y accesorios, pero sin afectar las condiciones de operación de equipos asociados.	1
Secundario	Tiene más incidencia sobre la perforación, afectando en menor grado los sistemas asociados al taladro.	2
Grave	Tiene mucha más incidencia sobre la perforación, afectando condiciones operacionales de los sistemas del taladro.	3
Muy grave	Genera daños en los sistemas importantes que están directamente relacionados con la perforación del taladro.	4

Se consideran las consecuencias asociadas a los costos de la reparación. Es decir, que tan complejo es para conseguirlo y cual es el costo de la mano de obra.

Tabla 14. Consecuencias no operacionales.

Escala de valoración para consecuencias no operacionales.		
Escala	Definición	Valor
No afecta	No se requiere de repuestos ni mano de obra fuera de la empresa.	0
Insignificante	Los repuestos son de bajo costo (< 10% del equipo) y fácil de conseguir (< 1 mes). La mano de obra (<0.4 millones).	1
Secundario	Los repuestos son de mediano costo (<30% del equipo) difícil de conseguir (1 a 3 meses). La mano de obra cuesta (<2 millones).	2
Grave	Los repuestos son de alto costo (< 70% del equipo) mucho más difícil de conseguir (de 4 a 6 meses) la mano de obra cuesta (< 5 millones).	3
Muy grave	Los repuestos son de muy alto costo (> 70% del equipo) y la consecución es mayor a 6 meses. La mano de obra cuesta (> 5 millones).	4

Se consideran las consecuencias asociadas con la pérdida de la imagen y el impacto que esto tiene con las aseguradoras de los taladros.

Tabla 15. Imagen para la empresa.

Escala de valoración para imagen de la empresa.		
Escala	Definición	Valor
No afecta	No perjudica la imagen de la empresa.	0
Insignificante	Se conoce a nivel interno de la empresa y no afecta que aumenten los costos en las aseguradoras.	1
Secundario	Se conoce a nivel local, la empresa puede perder prestigio ante el cliente, afecta que aumenten los costos en las aseguradoras en un porcentaje mínimo.	2
Grave	Se conoce a nivel nacional, afecta el prestigio de la empresa y los costos de las aseguradoras pueden tener un incremento significativo.	3
Muy grave	Se conoce a nivel internacional, afecta el prestigio de la empresa a nivel internacional y los costos de aseguradoras tienen un incremento bastante alto.	4

Se consideran las consecuencias asociadas con las fallas ocultas y si estas producen una falla múltiple o no.

Tabla 16. Valoración para consecuencias de fallas ocultas

Escala de valoración para consecuencias de fallas ocultas.		
Escala	Definición	Valor
No afecta	Falla oculta que no produce falla múltiple que afecta el proceso de perforación.	0
Insignificante	Falla oculta que produce falla múltiple que afecta el proceso de perforación.	4

A cada consecuencia se le asigna un peso para determinar la severidad del modo de falla.

Cuando el modo de falla esta asociado a una falla oculta se tienen los siguientes pesos.

Tabla 17. Pesos de cada consecuencia con falla múltiple.

Consecuencia	Pesos
Consecuencia para la seguridad física.	0.3
Consecuencia para el medio ambiente.	0.2
Consecuencias operacionales.	0.1
Consecuencias no operacionales.	0.1
Fallas ocultas que produzcan fallas múltiples.	0.05
Consecuencias por pérdida de la imagen.	0.25

Cuando el modo de falla no esta asociado con una falla oculta tiene los siguientes pesos.

Tabla 18. Pesos de cada consecuencia sin falla múltiple.

Consecuencia	Pesos
Consecuencia para la seguridad física.	0.3
Consecuencia para el medio ambiente.	0.25
Consecuencias operacionales.	0.1
Consecuencias no operacionales.	0.1
Consecuencias por pérdida de la imagen.	0.25

Para finalizar la aplicación de RCM a los taladros de voladura, se desarrolla la lógica RCM, que es una metodología que analiza las consecuencias de los diferentes modos de falla estudiados anteriormente y se eligen las acciones o tareas más apropiadas de mantenimiento y sus frecuencias de aplicación.

En la tabla 19, 20 y 21 se realizaron las evaluaciones de consecuencias y tareas de mantenimiento para los diferentes sistemas del taladro, teniendo en cuenta la metodología de análisis de consecuencias mencionadas anteriormente. El proceso de estudio que se sigue está enfocado en tomar cada modo de falla y dar un valor para los diferentes tipos de consecuencias.

Los períodos para realizar las tareas de mantenimiento se trabajaron en horas de operación del taladro de voladura.

Tabla 19. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema hidráulico

				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de Falla 1A1	Valor	Peso	Total	Verificar las líneas de aire de succión, reponer el nivel de aceite correcto del tanque acumulador, utilizar aceite que cumpla con las especificaciones e instalar filtro adecuado	8 horas	Mecánico	Mantenimiento Preventivo	
	C. seguridad física	0	0,3					0
	C. medio ambiente	0	0,25					0
	C. operacionales	1	0,1					0,1
	C. no operacionales	1	0,1					0,1
	C. pérdida imagen	0	0,25					0
Total								
				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de falla 1A2	Valor	Peso	Total	Revisar si se está utilizando el correcto adaptador de la caja de bombas, reemplazar partes dañadas y reinstalar correctamente	—	Mecánico	Mantenimiento Correctivo	
	C. seguridad física	0	0,3					0
	C. medio ambiente	0	0,2					0
	C. operacionales	2	0,1					0,2
	C. no operacionales	1	0,1					0,1
	C. pérdida imagen	1	0,25					0,25
Total								
				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de falla 1A3	Valor	Peso	Total	Reducir ajustes de presión. No deben alterarse las presiones originales del sistema hidráulico	250 horas	Mecánico	Mantenimiento Preventivo	
	C. seguridad física	0	0,3					0
	C. medio ambiente	0	0,2					0
	C. operacionales	1	0,1					0,1
	C. no operacionales	1	0,1					0,1
	C. pérdida imagen	0	0,25					0
Total								
				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de falla 1A4	Valor	Peso	Total	Cambiar los filtros (utilizar los originales), verificar las líneas del sistema, chequear y reparar aberturas en el tanque hidráulico	250 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo	
	C. seguridad física	0	0,3					0
	C. medio ambiente	1	0,25					0,25
	C. operacionales	2	0,1					0,2
	C. no operacionales	1	0,1					0,1
	C. pérdida imagen	1	0,25					0,25
Total								
				Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de falla 1A5	Valor	Peso	Total	Reponer nivel de aceite y mantener vigilancia con el indicador de nivel	8 horas	Mecánico y operador	Mantenimiento Correctivo	
	C. seguridad física	0	0,3					0,3
	C. medio ambiente	1	0,2					0,2
	C. operacionales	1	0,1					0,1
	C. no operacionales	1	0,1					0,1
	C. pérdida imagen	0	0,25					0
Total								

Tabla 19. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema hidráulico (Continuación)

	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de Falla 1B1	C. seguridad física	0	0,3	0	Regular válvula de alivio a la presión indicada en sus manuales	2000 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	2	0,1	0,2				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,55				
Modo de falla 1B2	C. seguridad física	0	0,3	0	Limpiar o reemplazar los filtros	250 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,1				
Modo de falla 1B3	C. seguridad física	0	0,3	0	Completar aceite al nivel adecuado	8 horas	Mecánico u operador	Mantenimiento correctivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	3	0,1	0,3				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,55				
Modo de falla 1C1	C. seguridad física	0	0,3	0	Localizar y reparar goteras o pérdidas de aceite	500 horas	Mecánico u operador	Mantenimiento correctivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	2	0,1	0,2				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,3				
Modo de falla 1C2	C. seguridad física	0	0,3	0	Chequear completamente el accionador, desde el control de posición de la bomba, mantenga segura esta operación. Ajustar la conexión al accionador de la bomba. NO MUEVA LA BOMBA PARA REUNIRLOS	12 horas	Mecánico	Mantenimiento correctivo
	C. medio ambiente	0	0,2	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,2				

Tabla 19. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema hidráulico (Continuación)

	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de Falla 1C3	C. seguridad física	0	0,3	0	Reemplazar completamente la pieza dañada	_____	Mecánico	Instrumentación
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,2				
Modo de falla 1D1	C. seguridad física	0	0,3	0	Desconectar el accionador de la bomba, mover el controlador, si este se mueve libremente sin resistencia retirarlo para verificar la válvula de control por falta de piezas o ruptura	1000 horas	Mecánico	Instrumentación
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,1				
Modo de falla 1E1	C. seguridad física	0	0,3	0	Interruptor de las válvulas de alivio de alta presión, si el sistema opera en el sentido deseado este podría no operar an la anterior, una de las válvulas esta inoperativas	12 horas	Mecánico	Instrumentación
	C. medio ambiente	0	0,2	0				
	C. operacionales	2	0,1	0,2				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,3				
Modo de falla 1E2	C. seguridad física	0	0,3	0	Remover las dos válvulas check localizadas al final de la tapa de la bomba de carga y observe que el asiento y la bola no se encuentra fuera de posición (Reemplace la bomba); chequee si el asiento de la válvula se encuentra deformado o corrido (Reemplace válvulas unidireccionales)	8 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo e instrumentación
	C. medio ambiente	1	0,25	0,25				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,7				
Modo de falla 1F1	C. seguridad física	0	0,3	0	Reemplace el controlador de la válvula	250 horas	Mecánico	Mantenimiento correctivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,1				

Tabla 20. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema compresor

	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de Falla 1A1	C. seguridad física	0	0,3	0	Cambiar acople motor-compresor	—	Mecánico	Mantenimiento correctivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	2	0,1	0,2				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,55				
Modo de falla 1A2	C. seguridad física	0	0,3	0	Verificar los ajustes y regulaciones adecuadas	250 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,2	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,1				
Modo de falla 1A3	C. seguridad física	0	0,3	0	Revisar líneas de aire del sistema	8 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	1	0,2	0,2				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,4				
Modo de falla 1A4	C. seguridad física	0	0,3	0	Verificar indicadores de saturación de los filtros, reemplazar el elemnto de seguridad y cambiar el elemento principal	250 horas	Mecánico u operador	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,2	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,1				
Modo de falla 1A5	C. seguridad física	0	0,3	0	Verificar la caída de presión a través del elemento separador, no debe exceder los 10 psi, reemplazar si esto ocurre.	2000 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	2	0,1	0,2				
	C. no operacionales	2	0,1	0,2				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,4				

Tabla 20. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema compresor (Continuación)

	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de falla 1A6	C. seguridad física	0	0,3	0	Verificar la línea de pilotaje desde el regulador (Compresor con carga, no hay pilotaje). Reparar o cambiar la válvula anti-ruido	8 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,2				
Modo de falla 1A7	C. seguridad física	0	0,3	0	Reemplace los engranajes por el set correcto para esa unidad	250 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	2	0,1	0,2				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,3				
Modo de falla 1B1	C. seguridad física	0	0,3	0	Reemplazar el filtro	_____	Mecánico	Mantenimiento correctivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,1				
Modo de falla 1B2	C. seguridad física	0	0,3	0	Verificar que exista pilotaje de aire desde el regulador; reparar o reemplazar válvula anti-ruido	250 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,2				
Modo de falla 1B3	C. seguridad física	0	0,3	0	Sacar y revisar la operación del switch, colocandolo en un baño de aceite caliente aprox. 118 C; Golpear el switch suavemente durante el chequeo. Reemplazar	_____	Mecánico	Mantenimiento correctivo e instrumentación
	C. medio ambiente	0	0,2	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
	Total			0,2				

Tabla 20. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el sistema compresor (Continuación)

Modo de Falla 1B4		Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
	C. seguridad física	0	0,3	0	Ajustar o reparar el sistema de control de polvo para una operación apropiada, incluyendo cortinas	2000 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
Total			0,2					
Modo de falla 1B5		Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
	C. seguridad física	0	0,3	0	Revisar conexiones sueltas, para prevenir un corto circuito	50 horas	Eléctrico u operador	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,2	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
Total			0,1					
		Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
C. seguridad física								
C. medio ambiente								
C. operacionales								
C. no operacionales								
C. pérdida imagen								
Total								
		Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
C. seguridad física								
C. medio ambiente								
C. operacionales								
C. no operacionales								
C. pérdida imagen								
Total								
		Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo
C. seguridad física								
C. medio ambiente								
C. operacionales								
C. no operacionales								
C. pérdida imagen								
Total								

Tabla 21. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el subsistema de lubricación y aire comprimido

	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo	Lo hace	Tipo	
Modo de falla 1A1	C. seguridad física	0	0,3	0	Testee la caída de presión en el separador, máx 10 psi. Limpiar el separador, reemplazar el elemento si está deteriorado	500 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
Total			0,1					
Modo de falla 1A2	C. seguridad física	0	0,3	0	Drenar el sistema de aceite, limpiar el interior del enfriador de aceite. Completar nivel de aceite de acuerdo a las especificaciones de los manuales	1000 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	1	0,25	0,25				
	C. operacionales	2	0,1	0,2				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	1	0,25	0,25				
Total			0,8					
Modo de falla 1B1	C. seguridad física	0	0,3	0	Retirar, inspeccionar y limpiar el orificio del tanque separador y el restrictor en válvula anti-ruído	500horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	0	0,1	0				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
Total			0,1					
Modo de falla 1B2	C. seguridad física	0	0,3	0	Testee la caída de presión en el separador máx. 10 psi. Si no hay diferencia de presión , retirar el separador y reemplazarlo	50 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
Total			0,2					
Modo de falla 2A1-2.3	C. seguridad física	0	0,3	0	Ajustar el tornillo tope en el brazo de la palanca, limpiar el orificio de la válvula.	250 horas	Mecánico	Mantenimiento preventivo
	C. medio ambiente	0	0,25	0				
	C. operacionales	1	0,1	0,1				
	C. no operacionales	1	0,1	0,1				
	C. pérdida imagen	0	0,25	0				
Total			0,2					

6. CONCLUSIONES

- ❖ Se estudió, desarrolló y aplicó la teoría de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a la flota de los taladros de voladura.
- ❖ Se identificó y describió los sistemas y funciones de los taladros de voladura, bajo los requerimientos de operación de los equipos.
- ❖ Se realizó los análisis de fallas funcionales (FMECA) en los diferentes sistemas del taladro de voladura, utilizando diagramas de entrada, proceso y salida, analizando las fallas, seleccionando los sistemas más críticos, determinado los componentes y sistemas más significativos.
- ❖ Se seleccionó estrategias y procedimientos de mantenimiento, realizando análisis de inspección para determinar las tareas de mantenimiento que se deben aplicar al taladro.
- ❖ Se aplicó la metodología RCM a los taladros de voladura, evidenciando los procesos, procedimientos, actividades, registros y elaboración de formatos que nos dan un óptimo nivel en la práctica para los taladros de voladura
- ❖ Se realizó la estructuración del sistema RCM, para la capacitación del personal de mantenimiento, enfocando en un sistema de información manual.

- ❖ Se adquirió un conocimiento bastante profundo de cada una de las partes que componen el sistema, tanto a nivel eléctrico, electrónico y mecánico, puesto que el grupo de estudio del sistema era un grupo multidisciplinario.
- ❖ Con el resultado del estudio se tiene mayor disponibilidad de los activos físicos y una menor tasa de falla, que es lo que se quiere en la compañía.
- ❖ Una conclusión del RCM es la eliminación de tareas innecesarias o reducción en la frecuencia de las mismas y el aumento en las tareas preventivas, esto implica un incremento en la confiabilidad y disponibilidad del sistema.
- ❖ La expansión de resultados es una buena metodología para minimizar costos de todo un estudio y tiempos de parada de equipos para su respectivo estudio, ya que los gerentes de las empresas quieren ver resultados rápidos y eficaces.
- ❖ El punto más importante al hacer una expansión de resultados es identificar que cierto equipo si pertenezca a la familia a la cual se le hizo el estudio completo de RCM. También es muy importante a la hora de hacer una expansión definir los factores, puesto que dependiendo de estos varían las tareas y frecuencias de mantenimiento.
- ❖ Antes de empezar a hacer el estudio de RCM se deben capacitar los participantes en el grupo para que comprendan la magnitud de esta filosofía de mantenimiento. Además se debe tener un facilitador con

bastante experiencia para que lleve los hilos de las reuniones y el grupo no se quede atascado en discusiones que no llevan a ningún lado.

- ❖ La aplicación de la metodología me permitió comprender más, de como se puede beneficiar una empresa con este estudio, tanto en el conocimiento detallado del sistema, como en mejorar la disponibilidad y disminuir en un mayor grado las consecuencias de cada una de las fallas del sistema.
- ❖ El estudio de este sistema se tornó un poco difícil puesto que hubo momentos en los que no se contaba con toda la gente del grupo RCM y esto hacia que se pasaran por alto algunos puntos importantes en la realización del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

ARENOSO, Dunn. Conferencia de las Mejores Estrategias del Mantenimiento para el Equipo Móvil. Bali, Indonesia. Marzo.1997.

KNIGHTS, Peter. Conferencia de Gestión Moderna de Mantenimiento. Universidad Católica de Chile. Departamento de Mecánica.

MOUBRAY, Jhon. Reliability Centered Maintenance II, Industrial Press Inc. New York, 1991.

PINZÓN, Fabián; DELGADO, Javier. Elaboración de multimedia de Capacitación para Evaluación, Aprobación, Ejecución de Ensayos no Destructivos y Actividades de Mantenimiento por el Personal Idóneo en Equipos Críticos del Taladro Pride 23. Bucaramanga, 2006. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 154 p.

PLATA, Claudia. Reelaboración y Documentación Continua del Análisis de Modos de Falla para las Líneas de Ensamble de Cardanes y Ejes Diferenciales de la Empresa Dana Transejes Colombia. Bucaramanga, 2005. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 144 p.

SANABRIA, Ronald. Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento de Campo Colorado. Bucaramanga, 2007. Trabajo de grado

(Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 290 p.

SMITH, Anthony. Reliability Centered Maintenance, McGraw Hill Inc., New York, 1992.

ANEXOS

Anexo A. Actividades de Mantenimiento para Perforadores DM45/L

ACTIVIDADES



A= Ajuste / Calibración

C= Cambio

D= Drenar

G= Grasa

I= Inspección

L=

Limpieza

O=

Overhaul

R= Reemplazo

T= Torque

X=

Chequeo

DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD	HORAS OPERACIÓN	OBSERVACIONES
Revisar indicadores saturación de:	X	8	o antes de arrancar el perforador
* Filtro aire seguridad compresor	X	8	o antes de arrancar el perforador
* Filtro aire principal compresor	X	8	o antes de arrancar el perforador
* Filtro aire seguridad motor	X	8	o antes de arrancar el perforador
* Filtro aire principal motor	X	8	o antes de arrancar el perforador
Niveles de aceite	X	8	o antes de arrancar el perforador
Inspección preoperacional	X	8	Al inicio de cada uno
Aceite martillo fondo	X	8	Usar aceite Rock drill
Engrase general perforadora	G	12	Usar grasa EP
Tanque separador	D	12	Con el tanque despresurizado
Tanque combustible	D	50	
Filtros del colector de polvo	L / R	50	
Baterías	X	50	
Pernos y tuercas	T	50	Principalmente en torre de perforación
Refrigerante	X	50	50/50 - H2O / Refrigerante
Filtro de aceite motor	R	250	
Filtro de combustible	R	250	
Filtro de by-pass aceite	R	250	
Filtro refrigerante	R	250	
Aceite motor	C	250	
Cooler y radiador	L	250	Aceite hidráulico, compresor y agua
Correas en "V"	X / A	250	
Mangueras (aceite, comb, agua)	X/R	250	
Baterías	L	250	
Perforadora	L	250	
Iluminación	X / I	250	
Tanque de agua inyección	L	250	

Sistema de engrase automático	I / A	250	Bomba, inyectores, mangueras
DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD	HORAS OPERACIÓN	OBSERVACIONES
Filtro del respiradero aceite hid.	R	500	
Filtros aire cond. y calefactor	L / R	500	Inspeccionar su estado
Sistema de parada automática	I	500	Indicadores de Murphy y sobrepresión
Sellos de barras	R	500	Inspeccionar buje centralizador
Filtros aceite compresor	R	500	Use filtro original
Filtro de malla del compresor (HP)	L / R	500	Reemplazo si esta dañado
Cadena del rodaje	I	500	Tensar si se requiere
Aceite caja conductora de bombas	C	1000	SAE 80W 90
Filtro sistema hidráulico	R	1000	Principales, retornos y magnéticos
Aceite hidráulico	C	1000	ISO AW 32
Aceite compresor	C	1000	
Aceite winche auxiliar	C	1000	GL - (2 o 3)
Aceite bomba de agua	C	1000	SAE 40W
Aceite reductor porta-barras	C	1000	Gear oil
Respiradero del carter motor	L	2000	
Válvulas diesel	A	2000	
Inyectores de combustible	A	2000	
Pernos turbo-alimentador	T	2000	
Pernos soporte motor diesel	T	2000	
Captador magnético	L / A	2000	
Alternador	I / L	2000	
Refrigerante motor diesel	C	2000	50/50 - H2O / Refrigerante
Aceite mandos finales	C	2000	SAE 30 o 50
Válvulas hidráulicas	I	2000	Cambio de sellos si corresponde
Sensores parada automática	I / A	2000	Verificar la calibración
Motores y bombas hidráulicas	G	2000	Engrasar eje estriado
Aceite cabezal de rotación	C	2500	Gear oil
Fijación del splinde	A	2500	Verificar precarga
Elemento separador	R	2500	Compresores XL y HP
Motores de los ventiladores	I / O	5000	Reparar de acuerdo a inspección
Acoplamiento motor / compresor	I	5000	Verificar estado de goma
Inyectores de combustible	L / A	5000	

Bomba de combustible	L / A	5000	
Turbo alimentador	X / I	5000	Reparar si corresponde
DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD	HORAS OPERACIÓN	OBSERVACIONES
Bomba de agua motor diesel	X / I	5000	Reparar si corresponde
Correas en "V"	X / R	5000	Chequear o reemplazar
Bomba doble	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Bombas principales	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Bomba de perforación	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Motores de rotación	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Motores de propulsión	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Motor bomba de agua	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Motor ventilador colector de polvo	I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Rodillos inferiores y superiores	I / O	7500	Reparar si corresponde
Zapatas de rodaje	I / T	7500	Reaprete e inspección
Compresor aire acondicionado	X / I	7500	Verificar su condición fucionamiento
Enfriadores aceite y refrigerante	I	7500	Reparar si corresponde
Winche auxiliar	O	10000	Cambio de sellos y rodamientos
Caja conductora de bombas	O	10000	Cambio de sellos y rodamientos
Cadena de avance	R	10000	Incluye pasadores y sprocket
Cables de avance	R	10000	Chequear desgaste poleas
Cilindros de avance	I / O	10000	Cambio de sellos y packing
Cilindros de nivelación	I / O	10000	Cambio de sellos y packing
Cilindros levante de torre	I / O	10000	Cambio de sellos y packing
Cilindros movimientos auxiliares	I / O	10000	Cambio de sellos y packing
Cabezal de rotación	O	10000	Cambio de rodamientos y sellos
Air End	O	10000	cambio rodam, sellos, bomba aceite
Motor diesel perforadora	O	10000	Indicación fabricante
Estructuras, chasis y torre	I / O	10000	Usar procedimiento recomendado

ANEXO B. Inspección Semanal



REGISTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA TALADROS DM45E

No EQUIPO	H/METRO	TURNO	FECHA DE EJECUCIÓN
OT:	Vo Bo SUPERVISOR		MANTENIMIENTO TALADROS VOLADURA
TÉCNICOS:			INSPECCIÓN SEMANAL

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
-----------------------------	------------------	-----	-----	-----	-------------

1. INSPECCIÓN PREOPERACIONAL

Aceite motor diesel	Que estén en su nivel de operación				
Aceite caja de engranaje					
ATF tanque compresor					
Aceite tanque hidráulico					
Aceite de la rotaria					
Estado de escalerilla y baranda de acceso	Existencia, anclaje, soldadura, guayas				

2. BASTIDORES Y ORUGAS

Revisar tensionamiento de las orugas	1" máx. Deflexión				
Revisar estado de los rodillos	Fugas, desgaste, ruptura				
Revisar zapatas/ cadenas	Grietas, tornillos faltantes/pines ajustados				
Revisar estructura	Grietas, abolladuras				
Lubricación pin central/Rotula/Barra fija	Por apreciación aplicar grasa a presión				
Revisar mangueras	Fugas, deterioro, rozamiento, enrutamiento				
Revisar puntos de engrase	Fugas, fijación, tapas de graseras				
Revisar faldón del colector	Existencia, posición, ruptura				
Revisar estado de mangueras del colector	Ruptura, desgaste, flexibilidad				

3. PLATAFORMA DEL TALADRO

Filtro depurador de aire acondicionado	Grietas, limpiar				
Revisar estado del desfogue de la caja de enguaje	Existencia, ruptura				
Revisar bombas hidráulicas	Fugas				
Revisar motor diesel	Fugas				
Inspección visual del acople compresor- motor (damper)	Grietas, cristalización				
Area del compresor	Fugas, roces, enrutamiento				
Revisar guaya de apertura mariposa del compresor	Fijación, recorrido, lubricación				
Revisar soportes motor / compresor	Fijación, anclaje, ajuste				
Revisar silenciador cil apertura v/v mariposa compresor	Existencia, ruptura				
Orificio en racor de cilin aliment v/v mariposa compresor	Limpiar				
Revisar cauchos y admisión de aire motor / compresor	Ruptura, cristalización, golpes				
Sistema Centralizado Engrase	Drenar agua/ completar aceite/ limpiar/ presión 80 PSI				
Revisar filtros de aire/verificar funcionamiento de indicadores de restricción	Cambiar si es necesario				
Revisar silenciador y tapa de exhosto	Grietas, rupturas				
Revisar en baterías:					
* Nivel de agua	Completar si es necesario				
* Bornes	Ajustar/ cambiar si es necesario				

ANEXO C. Registro ejecución Inspección 100 horas



REGISTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA TALADROS DM45E

No EQUIPO	H/METRO	TURNO	FECHA DE EJECUCIÓN
OT:	Vo Bo SUPERVISOR		MANTENIMIENTO TALADROS VOLADURA
TÉCNICOS:			REGISTRO EJECUCIÓN INSPECCIÓN 100 HORAS

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
1. INSPECCIÓN PREOPERACIONAL					
Aceite motor diesel	Que estén en su nivel de operación				
Aceite caja de engranaje					
ATF tanque compresor					
Aceite tanque hidráulico					
Aceite de la rotaria					
Estado de escalerilla y baranda de acceso	Existencia, anclaje, soldadura, guayas				
2. BASTIDORES Y ORUGAS					
Revisar tensionamiento de las orugas	1" máx. Deflexión				
Revisar estado de los rodillos	Fugas, desgaste, ruptura				
Revisar zapatas/ cadenas	Grietas, tornillos faltantes/pines ajustados				
Revisar estructura	Grietas, abolladuras				
Lubricación pin central/Rotula/Barra fija	Por apreciación aplicar grasa a presión				
Revisar mangueras	Fugas, deterioro, rozamiento, enrutamiento				
Revisar puntos de engrase	Fugas, fijación, tapas de graseras				
Revisar faldón del colector	Existencia, posición, ruptura				
Revisar estado de mangueras del colector	Ruptura, desgaste, flexibilidad				
3. PLATAFORMA DEL TALADRO					
Filtro depurador de aire acondicionado	Grietas, limpiar				
Revisar estado del desfogue de la caja de enganaje	Existencia, ruptura				
Revisar bombas hidráulicas	Fugas				
Revisar motor diesel	Fugas				
Inspección visual del acople compresor- motor (damper)	Grietas, cristalización				
Area del compresor	Fugas, roces, enrutamiento				
Revisar guaya de apertura mariposa del compresor	Fijación, recorrido, lubricación				
Revisar soportes motor / compresor	Fijación, anclaje, ajuste				
Revisar silenciador cil apertura v/v mariposa compresor	Existencia, ruptura				
Orificio en racor de cilin aliment v/v mariposa compresor	Limpiar				
Revisar cauchos y admisión de aire motor / compresor	Ruptura, cristalización, golpes				
Sistema F.R.L	Drenar agua/ completar aceite/ limpiar/ presión 80 PSI				
Revisar filtros de aire/verificar funcionamiento de indicadores de restricción	Cambiar si es necesario				
Revisar silenciador y tapa de exhosto	Grietas, rupturas				
Revisar en baterías:					
* Nivel de agua	Completar si es necesario				
* Bornes	Ajustar/ cambiar si es necesario				

ANEXO D. Registro de ejecución PM 250 horas



**REGISTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA
TALADROS DM45E**

No EQUIPO	H/METRO	TURNO	FECHA DE EJECUCIÓN
OT:	Vo Bo SUPERVISOR		MANTENIMIENTO TALADROS VOLADURA
TÉCNICOS:			REGISTRO EJECUCIÓN PM 250 HORAS

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	ACTUAL	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
INSPECCIÓN CON MOTOR ENCENDIDO (PRUEBAS DINÁMICAS +/- 10 %)						
Revisar y/o calibrar Presión máxima de empuje	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima pull up	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bba izquierdo	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bbe derecho	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión bomba de agua	1000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión motor ventilador	1800 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión v/v 9 cuerpos	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar RPM. Mínima motor Diesel	1350 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima motor diesel	2100 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima rotaria	120 RPM					
Revisar y/o calibrar Presión motor colector	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión Hidráulica Supercarga	65 PSI					

VERIFICACIÓN DURANTE LAS PRUEBAS DINÁMICAS

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
COLUMNA DE PERFORACIÓN					
Verificar estado de tubería de perforación	Torcedura y desgaste roscas				
Verificar buen estado de roscas del sustituto	Desgaste				
Verificar alineamiento columna de perforación/ nivel cabina	Utilizar nivel en cabina, centrar tubería y si es necesario tensionar guayas o cadenas				
Ejecute y verifique movimientos de:					
*Apertura, cierre y giro del carga tubos	Accione palanca en los dos sentidos				
* Operación de la llave mordaza					
* Rotación					
* Alimentación					
*Cilindros de nivelación					
*Cilindro de seguros del mástil					
*Cilindros de levante de mástil					

MOTOR DIESEL

Verificar calidad del humo del motor	Encender equipo y verificar visual				
Verifique fugas de aceite motor	Revisar mangueras, abrazaderas en buen estado				
Verifique fugas de refrigerante	Revisar mangueras, abrazaderas en buen estado				
Verifique por tubo ruido anormal	Coloque el motor en mín y máx RPM				

ANEXO E. Registro de ejecución P.M. 500 horas



**REGISTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA
TALADROS DM45E**

No EQUIPO	H/METRO	TURNOS	FECHA DE EJECUCIÓN
OT:	Vo Bo SUPERVISOR	MANTENIMIENTO TALADROS VOLADURA	
TÉCNICOS:			REGISTRO EJECUCIÓN PM 500 HORAS

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	ACTUAL	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
INSPECCIÓN CON MOTOR ENCENDIDO (PRUEBAS DINÁMICAS +/- 10 %)						
Revisar y/o calibrar Presión máxima de empuje	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima pull up	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bba izquierdo	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bbe derecho	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión bomba de agua	1000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión motor ventilador	1800 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión v/v 9 cuerpos	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar RPM. Mínima motor Diesel	1350 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima motor diesel	2100 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima rotaria	120 RPM					
Revisar y/o calibrar Presión motor colector	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión Hidráulica Supercarga	65 PSI					

VERIFICACIÓN DURANTE LAS PRUEBAS DINÁMICAS

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
COLUMNA DE PERFORACIÓN					
Verificar estado de tubería de perforación	Torcedura y desgaste roscas				
Verificar buen estado de roscas del sustituto	Desgaste				
Verificar alineamiento columna de perforación/ nivel cabina	Utilizar nivel en cabina, centrar tubería y si es necesario tensionar guayas o cadenas				
Verificar estado del amortiguador de la rotaria	Grietas				
Ejecute y verifique movimientos de:					
*Apertura, cierre y giro del carga tubos	Accione palanca en los dos sentidos				
* Operación de la llave mordaza					
* Rotación					
* Alimentación					
*Cilindros de nivelación					
*Cilindro de seguros del mástil					
*Cilindros de levante de mástil					

MOTOR DIESEL

Verificar calidad del humo del motor	Encender equipo y verificar visual				
Verifique fugas de aceite motor	Revisar mangueras, abrazaderas en buen estado				
Verifique fugas de refrigerante					
Verifique por tubo ruido anormal	Coloque el motor en mín y máx RPM				

ANEXO F. Registro de ejecución PM 1000 horas



**REGISTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA
TALADROS DM45E**

No EQUIPO	H/METRO	TURNO	FECHA DE EJECUCIÓN
OT:	Vo Bo SUPERVISOR	MANTENIMIENTO TALADROS VOLADURA	
TÉCNICOS:			REGISTRO EJECUCIÓN PM 1000 HORAS

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	ACTUAL	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
INSPECCIÓN CON MOTOR ENCENDIDO (PRUEBAS DINÁMICAS +/- 10 %)						
Revisar y/o calibrar Presión máxima de empuje	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima pull up	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bba izquierdo	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bbA derecho	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión bomba de agua	1000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión motor ventilador	1800 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión v/v 9 cuerpos	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar RPM. Mínima motor Diesel	1350 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima motor diesel	2100 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima rotaria	120 RPM					
Revisar y/o calibrar Presión motor colector	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión Hidráulica Supercarga	65 PSI					

VERIFICACIÓN DURANTE LAS PRUEBAS DINÁMICAS

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
COLUMNA DE PERFORACIÓN					
Verificar estado de tubería de perforación	Torcedura y desgaste roscas				
Verificar buen estado de roscas del sustituto	Desgaste				
Verificar alineamiento columna de perforación/ nivel cabina	Utilizar nivel en cabina, centrar tubería y si es necesario tensionar guayas o				
Verificar estado del amortiguador de la rotaria	Grietas				
Ejecute y verifique movimientos de:					
*Apertura, cierre y giro del carga tubos	Accione palanca en los dos sentidos				
* Operación de la llave mordaza					
* Rotación					
* Alimentación					
*Cilindros de nivelación					
*Cilindro de seguros del mástil					
*Cilindros de levante de mástil					

MOTOR DIESEL

Verificar calidad del humo del motor	Encender equipo y verificar visual				
Verifique fugas de aceite motor	Revisar mangueras, abrazaderas en buen estado				
Verifique fugas de refrigerante	Coloque el motor en mín y máx RPM				
Verifique por tubo ruido anormal					

ANEXO G. Registro de ejecución P.M. 2000 horas



**REGISTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA
TALADROS DM45E**

No EQUIPO	H/METRO	TURNO	FECHA DE EJECUCIÓN
OT:	Vo Bo SUPERVISOR	MANTENIMIENTO TALADROS VOLADURA	
TÉCNICOS:			REGISTRO EJECUCIÓN PM 2000 HORAS

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	ACTUAL	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
INSPECCIÓN CON MOTOR ENCENDIDO (PRUEBAS DINÁMICAS +/- 10 %)						
Revisar y/o calibrar Presión máxima de empuje	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima pull up	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bba izquierdo	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión máxima bbA derecho	4000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión bomba de agua	1000 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión motor ventilador	1800 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión v/v 9 cuerpos	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar RPM. Mínima motor Diesel	1350 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima motor diesel	2100 RPM					
Revisar y/o calibrar RPM. Máxima rotaria	120 RPM					
Revisar y/o calibrar Presión motor colector	2750 PSI					
Revisar y/o calibrar Presión Hidráulica Supercarga	65 PSI					

VERIFICACIÓN DURANTE LAS PRUEBAS DINÁMICAS

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ESPECIFICACIONES	O.K	REP	PRO	COMENTARIOS
COLUMNA DE PERFORACIÓN					
Verificar estado de tubería de perforación	Torcedura y desgaste roscas				
Verificar buen estado de roscas del sustituto	Desgaste				
Verificar alineamiento columna de perforación/ nivel cabina	Utilizar nivel en cabina, centrar tubería y si es necesario tensionar guayas o				
Verificar estado del amortiguador de la rotaria	Grietas				
Ejecute y verifique movimientos de:					
*Apertura, cierre y giro del carga tubos	Accione palanca en los dos sentidos				
* Operación de la llave mordaza					
* Rotación					
* Alimentación					
*Cilindros de nivelación					
*Cilindro de seguros del mástil					
*Cilindros de levante de mástil					

MOTOR DIESEL

Verificar calidad del humo del motor	Encender equipo y verificar visual				
Verifique fugas de aceite motor	Revisar mangueras, abrazaderas en buen estado				
Verifique fugas de refrigerante					
Verifique por tubo ruido anormal	Coloque el motor en mín y máx RPM				