

**SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA TREN DE
POTENCIA EN EQUIPOS MINEROS DE CERROMATOSO S.A.**

**OSCAR MARINO CAMPO BONELL
JORGE ARTURO ORDOSGOITIA ARRIETA
ERMENSON PROTTO MARCELO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2009**

**SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA TREN DE
POTENCIA EN EQUIPOS MINEROS DE CERROMATOSO S.A.**

**OSCAR MARINO CAMPO BONELL
JORGE ARTURO ORDOSGOITIA ARRIETA
ERMENSON PROTTO MARCELO**

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

**Director: Jesús Alberto Montaña Blanco
Especialista en Negocios Internacionales**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2009**

A Dios que nos da la vida y la sabiduría para hacer las cosas.

A nuestras esposas por su comprensión, aliento y amor inagotable. Su compañía y apoyo en todo el desarrollo de este proyecto fue invaluable y fundamental para su realización.

A nuestros hijos; por la atención y el tiempo de dedicación dejados de dar.

A nuestros familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Las Empresas CERROMATOSO S.A. y SHELL COLOMBIA S.A., por el apoyo y el tiempo brindado para la ejecución de la Especialización.

Al Ingeniero Jesús Montaña por el compromiso y dirección de esta monografía.

Al Ing. Julián Rivera por su disposición como coordinador del programa de Especialización y diligencia en la respuesta de solicitudes académicas.

Al cuerpo docente de la Universidad Industrial de Santander por el conocimiento compartido.

A la Universidad Tecnológica de Bolívar por el uso de sus instalaciones y servicios prestados, que hicieron posible la realización de esta Especialización.

A todos los compañeros de la especialización.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
1. CONTEXTO OPERACIONAL	2
1.1 EL NÍQUEL, PROPIEDADES Y APLICACIONES	2
1.2 RESEÑA HISTÓRICA DE CERROMATOSO	3
1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	5
1.4 PROCESO PRODUCCIÓN DE FERRÓNÍQUEL	6
1.4.1 Mina	6
1.4.2 Preparación de Mineral	6
1.4.3 Calcinación	7
1.4.4 Fundición	7
1.4.5 Refinación	7
1.5 EXPLOTACIÓN MINERA	9
1.5.1 Equipo de Cargue	11
1.5.2 Equipo de Acarreo	12
1.5.3 Equipo de Soporte	12
1.5.4 Equipo de Perforación	13
1.6 ENTORNO SOCIAL	14
1.6.1 Gestión Ambiental	14
1.6.2 Responsabilidad Social	14
1.6.3 Empleo	15

	pág.
1.6.4 Regalías	15
2. TEORÍA DEL MANTENIMIENTO	16
2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	16
2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	17
2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	19
2.3.1 Inspección visual, acústica y al tacto de componentes	20
2.3.2 Termografía	20
2.3.3 Vibraciones	22
2.3.4 Análisis de aceite	28
2.4 MANTENIMIENTO PROACTIVO	34
2.5 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN	36
2.6 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD	39
3. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD	41
4. ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL CAMIÓN CAT 773 Y FALLAS FRECUENTES EN EL TREN DE POTENCIA	45
4.1 ESPECIFICACIONES	45
4.2 PROCESO DEL CAMIÓN CAT 773	47
4.3 SISTEMAS BÁSICOS DEL TREN DE POTENCIA	47
4.4 FUNCIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA DEL CAMIÓN CAT 773	52
4.5 FALLAS FRECUENTES DEL TREN DE POTENCIA	56
4.6 FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL TREN DE POTENCIA	57
4.6.1 Fallas del motor	57

	pág.
4.6.2 Fallas del convertidor	57
4.6.3 Fallas de la transmisión	58
4.6.4 Fallas del diferencial	58
4.6.5 Fallas de los mandos finales	59
4.6.6 Fallas de los cardanes	59
4.6.7 Fallas de las llantas	59
4.7 DETECCIÓN DE FALLAS EN EL TREN DE POTENCIA	60
4.7.1 Indicadores de falla de motores	60
4.7.2 Contaminación del aceite	62
4.7.3 Vibraciones	65
5. ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN	70
5.1 SISTEMA ERP-CMMS GSAP	70
5.2 SOFTWARE TAM CATERPILLAR	72
5.3 SOFTWARE AMS MACHINERY HEALTH MANAGER	76
6. FILOSOFÍA DE SISTEMAS Y GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	78
7. ESTRUCTURA FUNCIONAL DE MANTENIMIENTO	79
7.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	79
7.2 PROCESO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MINEROS EN CMSA	79
7.2.1 Fase planear	82
7.2.2 Fase hacer	88
7.2.3 Fase verificar	90
7.2.4 Fase actuar	92

	pág.
8. ANÁLISIS SITUACIONAL	94
8.1 PROYECTO SIX SIGMA “EXTENSIÓN DE VIDA DE COMPONENTES”	95
8.2 RCM CAMIONES CAT 773	95
8.3 CULTURA ORGANIZACIONAL DE MANTENIMIENTO	96
8.4 PROCESO DE GESTIÓN DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO	97
8.5 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	99
8.6 ANÁLISIS DE INDICADORES CMD	100
9. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA	102
9.1 CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO	102
9.2 SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO	105
9.2.1 Fases Planear y Ejecutar	105
9.2.2 Fase gestión de confiabilidad	110
9.2.3 Fase Gestión de la Operación	112
10. ANÁLISIS FINANCIERO	113
11. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	116
CONCLUSIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	119

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización y ubicación geográfica de Cerro Matoso S.A.	6
Figura 2. Proceso Producción de Ferroníquel	8
Figura 3. Explotación minera a cielo abierto	9
Figura 4. Cámara termográfica	21
Figura 5. Termograma	21
Figura 6. Medición de vibraciones	22
Figura 7. Valor pico y RMS de una vibración	24
Figura 8. Espectro de frecuencias	24
Figura 9. Vibración transiente	25
Figura 10. Vibración de ejes orbitales	26
Figura 11. Análisis Envelope de vibraciones	26
Figura 12. Análisis de demodulación	27
Figura 13. Dominio tiempo y frecuencia de una vibración	28
Figura 14. Contador de partículas Minilab 5200	29
Figura 15. Prueba de viscosidad	30
Figura 16. Espectros de aceite usado	31
Figura 17. Ferrografía analítica	32
Figura 18. Diagrama descriptivo del monitoreo por condición.	36
Figura 19. Flujograma del monitoreo por condición ISO 17359	37
Figura 20. Curva P-F de confiabilidad	40

	pág.
Figura 21. Dimensiones del camión CAT 773	45
Figura 22. Diagrama de proceso del camión CAT 773	46
Figura 23. Sistema motriz del tren del camión CAT 773	47
Figura 24. Subsistema de combustible motor CAT 3412E	48
Figura 25. Subsistema de lubricación motor CAT 3142E	49
Figura 26. Subsistema de enfriamiento motor CAT 3412E	50
Figura 27. Subsistema de admisión y escape del motor CAT 3412E	50
Figura 28. Subsistema de potencia del motor CAT 3412E	51
Figura 29. Sistema de tren de potencia del camión CAT 773	52
Figura 30. Tren de potencia del camión CAT 773	54
Figura 31. Convertidor de par del camión CAT 773	54
Figura 32. Transmisión del camión CAT 773	55
Figura 33. Diferencial del camión CAT 773	56
Figura 34. Mando final del camión CAT 773	56
Figura 35. Formato Orden de Trabajo GSAP	70
Figura 36. Ventana GSAP para visualización de avisos de mantenimiento	72
Figura 37. Ventana para visualización de tendencias – TAM	73
Figura 38. Ventana para visualización de la información por muestra – TAM	73
Figura 39. Reporte de análisis de aceite	74
Figura 40. Tendencias de desgaste de componentes	75
Figura 41. Aplicaciones del software Machinery Health Manager	77
Figura 42. Ventana para visualización de funciones Minilab 5200	77

	pág.
Figura 43. Estructura organizacional de mantenimiento en CMSA	80
Figura 44. Aviso GSAP	84
Figura 45. Orden de trabajo GSAP	85
Figura 46. Agenda para elaboración del plan semanal	87
Figura 47. Proceso de overhaull	88
Figura 48. Agenda para evaluar ventana semanal	91
Figura 49. Etapas de mejoramiento en función del tiempo	94
Figura 50. Postal del proyecto Six Sigma “Monitoreo por Condición”	95
Figura 51. Postal del proyecto RCM Camiones CAT 773	96
Figura 52. Pirámide de evolución del Mantenimiento de Clase Mundial	97
Figura 53. Proceso de Gestión de Trabajos de Mantenimiento	98
Figura 54. Gráfica radar “Evaluación del Sistema de Gestión”	100
Figura 55. Análisis de indicadores CMD	101
Figura 56. Factores que afectan la gestión del mantenimiento	103
Figura 57. Factores que contribuyen al crecimiento del mantenimiento	104
Figura 58. Sistema de Gestión de Mantenimiento Proactivo	105
Figura 59. Comportamiento y proyección de los motores	113

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz de evaluación para criterios de análisis de criticidad	43
Tabla 2. Resumen datos de criticidad equipos mineros	43
Tabla 3. Indicadores de problemas en motores antes de la falla	60
Tabla 4. Límites de desgaste en ppm para motores Diesel	76

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Ubicación del Proceso de Mantenimiento Mina	81
Diagrama 2. Entradas y Salidas del proceso de mantenimiento.	82
Diagrama 3. Proceso Fase Planear	83
Diagrama 4. Operación de la fase planear	86
Diagrama 5. Operación de la fase hacer	89
Diagrama 6. Operación de la fase verificar	90
Diagrama 7. Operación de la fase actuar	92
Diagrama 8. Funcional de bloques del proceso de mantenimiento	93

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Mineral de Níquel	2
Foto 2. Yacimiento de Ferroníquel en Cerro Matoso	3
Foto 3. Cerro Matoso en el año 1982	4
Foto 4. Cerro Matoso en la actualidad	5
Foto 5. Ferroníquel granulado	7
Foto 6. Explotación minera en Cerro Matoso S.A.	10
Foto 7. Pala Hidráulica Hitachi EX1100	11
Foto 8. Cargadores CAT 990II	11
Foto 9. Camión CAT 773D	12
Foto 10. Tractor CAT D9R	12
Foto 11. Motoniveladora CAT 16H	13
Foto 12. Carroriego CAT 773E	13
Foto 13. Perforadora DrillTech D25KS	14
Foto 14. Espectroscopía infrarroja FTIR	31
Foto 15. Prueba Karl Fischer	32
Foto 16. Espectroscopía de emisión atómica	33

GLOSARIO

Aspecto Ambiental: Elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el medio ambiente.

Aspecto Ambiental Significativo: Un aspecto ambiental de alta significancia es aquel que tiene o puede tener un impacto ambiental significativo.

Aviso de actividad: Es un aviso que se realiza cuando un técnico encuentra una condición anormal en equipo durante la parada mantenimiento y la condición es corregida inmediatamente.

Avisos de avería: Es el reporte que hace el cliente en el software de mantenimiento, de una falla, o condición anormal encontrada en el equipo.

Aviso de Mantenimiento: Es el aviso que hace el personal de mantenimiento de las condiciones encontradas en las inspecciones de Pre PM de los equipos.

Aviso de solicitud de mantenimiento: Reporte que hacen los Técnicos de una necesidad de mantenimiento, un daño o una solicitud de un mantenimiento preventivo de un equipo o de una ubicación técnica.

Backlogs: Son todas las órdenes de trabajo que se encuentran abiertas y que no han sido tratadas por ejecución.

Bitácora: Cuaderno que portan los equipos pesados y livianos con la finalidad de que los operadores reporten la anomalía encontrada durante el pre uso del equipo.

Causas de falla: Factor que originó una falla o avería.

Cierre comercial de la orden de trabajo: Operación que se hace sobre el software de mantenimiento para indicar que todos los costos de la orden de trabajo han sido liquidados.

Cierre técnico de la orden de trabajo: Operación que se hace sobre el software de mantenimiento para indicar que todas las operaciones relacionadas con la orden de trabajo fueron terminadas.

Cliente: Es aquel (persona, institución o proceso) que recibe (o compra) y utiliza el producto final.

CMSA: Cerro Matoso S.A.

Componentes: Materiales o repuestos necesarios en una operación de mantenimiento.

CTS: Programa de seguimiento a los trenes de rodaje Caterpillar.

Disponibilidad: Indicador de mantenimiento, que corresponde al porcentaje del tiempo que un equipo o ubicación técnica está disponible para operación.

ECM: Modulo de Control Electrónico.

Equipo: Medio físico utilizado para prestar un servicio a la materia prima y/o un requerimiento.

Equipo de Control Ambiental: Equipo o sistema de control ambiental destinado a minimizar o mitigar los impactos ambientales que generen o puedan generar los aspectos ambientales significativos.

ET: Electronic Technician, información bajada de los módulos electrónicos del motor, transmisión, del ARC y del Payload

Fase: Cada una de las etapas de que se compone un Proceso.

Flujos Auxiliares: Son todos aquellos que hacen parte del proceso o fase etc. pero no son producto ni subproducto de la misma. Se representan entrando por la parte superior y saliendo por la inferior de un Diagrama de Bloques.

Flujo Principal: Entrada Principal definida en un proceso, a la cual se le presta un servicio definido en el proceso.

Folder de Mantenimiento: Es una carpeta donde se guarda toda la información actualizada de la rutina de mantenimiento a realizar. Esta carpeta se entrega al grupo de mantenimiento cada vez que se realiza un mantenimiento preventivo al equipo.

Folder de Overhaul: Es una carpeta donde se guarda el plan de reparación de un equipo programado para una reparación mayor.

GSAP: Software integral (Global SAP) para la administración del mantenimiento.

Horómetros: Sistema de medición de horas de equipos.

Índice de Backlog: Indicador de mantenimiento que corresponde al número de semanas necesarias para que con el recurso de mano de obra actual se realicen las ordenes de trabajos pendientes.

Inspección: Examinar, verificar y / o establecer condiciones y estados de un equipo.

Inspección PRE-PM: Es la que se realiza 150 horas después que el equipo ha salido de mantenimiento(150 horas operadas) y 24 horas antes de la parada de mantenimiento.

Instrucciones de mantenimiento: Instrucciones detalladas de cómo ejecutar una operación de mantenimiento. (En el software recibe el nombre de texto explicativo).

MTBF: Media Time Between to Failure.

MTTR: Media Time to Repair.

Notificación: Registro en el software de mantenimiento de las actividades de mantenimiento preventivo o correctivo realizadas sobre un equipo o una ubicación técnica.

Orden de trabajo: Documento que se emite para ordenar la ejecución de un trabajo y en el que se consignan los recursos, repuestos, costos planeados y causados, las operaciones de mantenimiento y su fecha de ejecución.

Panorama de Riesgos: Proceso para reconocer la existencia de un peligro y definir sus características.

Parada de Mantenimiento (PM): Es la ejecución de la ruta de mantenimiento correspondiente y las tareas planeadas y programadas de la inspección de Pre PM.

Prioridad: Es el código por medio del cual se informa la urgencia que tiene el equipo para que se realice el trabajo.

Procedimiento: Una manera especificada de efectuar una actividad.

Proceso: Un conjunto de recursos y actividades interrelacionados que transforma entradas en salidas.

Proveedor: Organización que suministra un producto a un cliente.

Registro: Un documento que suministra evidencia objetiva de las actividades efectuadas o de los resultados alcanzados, y que se puede escribir o almacenar en cualquier medio de soporte de datos.

Requisito Legal: Obligación ambiental impuesta por una norma legal, o derivada de compromisos corporativos, aplicable a las operaciones de CMSA.

Reuniones de Grupo: Son las que se realizan periódicamente y en las que se tratan temas escogidos y preparados previamente y referidos a Seguridad, Higiene, Salud, Ambiente y Calidad.

Riesgo: Combinación de la probabilidad y la(s) consecuencia(s) de que ocurra un evento peligroso específico.

SIS: Sistema de información de Servicio de Caterpillar.

Sistema: División Funcional de una Fase o Subfase, la cual agrupa un conjunto de equipos que prestan un servicio específico para la transformación y/o servicio de la materia prima o un requerimiento.

Subfase: Cada una de las etapas de que se compone una Fase.

TAM: programa para recopilación y organización de la información extractada de los análisis de aceite.

Tarea: Conjunto de actividades que se necesitan ejecutar dentro de un determinado Procedimiento de Operación.

Tarea Crítica: Es una sección de trabajo, una asignación específica de trabajo, un conjunto de acciones que se necesitan para completar un objetivo específico de trabajo, el cual si no hace de forma apropiada representa peligro para las personas.

Técnico (Mantenedor): Personal de mantenimiento encargado de realizar los trabajos de reparación, inspección y evaluación de los equipos.

Técnico de Pre PM: Es la persona que se encarga de hacer la inspección de Pre PM.

RESUMEN

TITULO: SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA TREN DE POTENCIA EN EQUIPO MINERO DE CERROMATOSO S.A.¹

AUTORES: OSCAR MARINO CAMPO BONELL, JORGE ARTURO ORDOSGOITIA ARRIETA, ERMENSON PROTTO MARCELO.**

PALABRAS CLAVES: SISTEMAS, GESTIÓN, MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, PREDICTIVO, PROACTIVO, CAUSA RAÍZ.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: Esta monografía desarrolla un modelo sistemático de gestión de mantenimiento proactivo aplicado a los componentes del tren de potencia en equipo de minería a cielo abierto. Casi la totalidad de los fabricantes de equipo para movimiento de tierra, ofrecen componentes y sistemas de control de alta tecnología, que requieren un sistema de gestión de mantenimiento eficiente y eficaz a la hora de obtener resultados financieros positivos en el mediano plazo.

El modelo propone implementar sistemáticamente estrategias modernas de mantenimiento, tales como el monitoreo por condición, análisis de fallas y causa raíz, medición por indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, involucrando los factores que impactan administrativamente la gestión del mantenimiento como son la administración de repuestos, gestión de operación de los equipos, recursos humanos, manejo de contratistas internos y externos, administración de herramientas y equipos de soporte.

Se espera que este modelo al implementarse, genere un impacto positivo en los costos de mantenimiento, reduzca el factor de riesgo en la operación y rutinas de taller, minimice el desecho de residuos, pérdidas de tiempo, inventario ocioso, optimización de recursos humanos y chatarra, eleve el nivel de apreciación por los activos y registre información relevante en el sistema central para consulta posterior. Se trata de alinear un sistema de gestión existente con prácticas de clase mundial mediante las estrategias mencionadas; esto implica capacitar y entrenar al personal para crear una nueva cultura organizacional de mantenimiento, donde todos participen activamente en el diagnóstico de fallas, registro y documentación de los procesos e interpretación de indicadores.

¹ Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Jesús Alberto Montaña Blanco, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: SYSTEM OF MANAGEMENT OF MAINTENANCE PROACTIVE FOR TRAIN OF IT DEVELOPS IN EQUIPMENT MINER OF CERROMATOSO CORP*.

AUTHORS: OSCAR MARINO CAMPO BONELL, JORGE ARTURO ORDOSGOITIA ARRIETA, ERMENSON PROTTO MARCELO**.

KEYWORDS: SYSTEMS, MANAGEMENT, MAINTENANCE, RELIABILITY, MAINTAINABILITY, PREDICTIVE, PROACTIVE, ROOT CAUSES.

SUBJECT OR DESCRIPTION: This monograph develops a systematic model of maintenance management applied to the components of the train of power in mining team to open sky. Almost the entirety of the team makers for earth movement, they offer components and systems of control of high technology that require a system of management of efficient and effective maintenance when obtaining financial positive results in the medium term.

The pattern intends to implement modern strategies of maintenance systematically, such as the monitored for condition, analysis of flaws and it causes root, mensuration for indicators of dependability, maintainability and readiness, involving the factors that impact the management of the maintenance administratively like they are the administration of reserves, management of operation of the teams, human resources, internal and external contractors' handling, administration of tools and support teams.

It is expected that this model when being implemented, generate a positive impact in the maintenance costs, reduce the factor of risk in the operation and shop routines, minimize the waste of residuals, losses of time, lazy inventory, optimization of human resources and scrap, elevate the appreciation level for the assets and register outstanding information in the central system for later consultation. It is about aligning a system of existent management with practical of world class by means of the mentioned strategies; this implies to enable and to train the personnel to create a new organizational culture of maintenance, where all participate actively in the diagnosis of flaws, registration and documentation of the processes and interpretation of indicators.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director: Jesus Alberto Montaña Blanco, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La intensa presión competitiva en el mercado internacional está forzando a los responsables del mantenimiento en las empresas industriales y mineras a realizar la transición de ser un departamento que realiza reparaciones y cambio de componentes, a una unidad de alto nivel que asegura la capacidad de producción y la conservación del activo.

El mantenimiento debe mirarse como un negocio que produce un producto y este producto es la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad de los equipos, reflejándose en la conservación del activo. Desde este punto de vista la gestión del mantenimiento debe medirse y mostrar indicadores a la vista para vender a la alta directiva la gestión del grupo de mantenimiento y su impacto en la producción de la empresa.

Bajo estos lineamientos la presente monografía muestra un enfoque sistémico de la gestión del mantenimiento, en el cual participan todos los actores que influyen en el desarrollo del mismo.

El desarrollo de este trabajo fue planteado en los primeros capítulos explicando el contexto operacional de la empresa, cómo es el funcionamiento de la operación de una mina a cielo abierto, los equipos básicos para su operación, la secuencia del proceso en la planta hasta llegar al producto final. Se describe el impacto ambiental, social y las acciones que la empresa ha tomado para mantener un desarrollo sostenible de la comunidad bajo el área de influencia.

Se dedica un capítulo a explicar la teoría de mantenimiento haciendo breve descripciones de los diferentes tipos de mantenimiento.

Posteriormente se hace una descripción del camión Caterpillar modelo 773, esto con la finalidad de orientar y explicar a las personas que no tengan conocimiento acerca de estos equipos, puedan entender su funcionamiento.

Por otro lado se habla de los conceptos de Sistema y Gestión de Mantenimiento, ambos importantes y básicos para entender la propuesta que se plantea como es el sistema de mantenimiento proactivo para trenes de Potencia de equipos minero en Cerro Matoso.

El ultimo capitulo se describe el sistema de mantenimiento proactivo que se plantea el cual tiene un enfoque gerencial donde no solo se va a la búsqueda de la causa raíz de la falla sino que involucra todos los factores que impactan la gestión del mantenimiento.

1. CONTEXTO OPERACIONAL

1.1 EL NÍQUEL, PROPIEDADES Y APLICACIONES

El níquel se encuentra en la corteza terrestre, es liberado por emisiones volcánicas, se encuentra también en meteoritos y en el suelo de los océanos. El níquel y sus compuestos no tienen olor ni sabores característicos, es un elemento natural abundante. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado (foto 1 y 2).

Foto 1. Mineral de Níquel.



Fuente: Smithsonian Institution

El Níquel es un mineral de gran demanda en la industria siderúrgica, principalmente para la obtención de aceros de gran calidad y en muchísimas aleaciones con Cobre, Cromo, Aluminio, Plomo, Cobalto, Manganeseo, Plata, Oro y Cinc. El níquel da a las aleaciones dureza, tenacidad y ligereza, así como cualidades anticorrosivas, eléctricas y térmicas.

La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable, también como material para fabricar monedas, joyas, componentes como válvulas e intercambiadores de calor, rodamientos, bombas, tubería, repuestos automotrices y artículos como televisores, equipos de telecomunicación e informática. El níquel puede combinarse con otros elementos como el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel, muchos se disuelven fácilmente en agua y se usan en niquelado, para colorear cerámicas, fabricar baterías y como catalizadores, que son sustancias que aceleran las reacciones químicas².

² www.wikipedia.com

Foto 2. Yacimiento de Ferroníquel en Cerromatoso



Cortesía: Cerromatoso S.A.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA DE CERRO MATOSO

Los yacimientos de Cerromatoso fueron descubiertos en 1950 por el geólogo chileno Enrique Hubach. En 1956 la empresa Richmond Petroleum, subsidiaria de la Standard Oil Company, presentó solicitud para contratar un área ubicada a sólo 22 Km. de Montelíbano-Córdoba, en donde sus geólogos acababan de reconocer un depósito que fue catalogado como de hierro.

Aunque la concesión solicitada por Richmond Petroleum en 1960 para níquel fue otorgada en 1963 con el No. 866 del 30 de marzo, se desató un proceso de superposición de área con el minero a quien se le había adjudicado el área en 1956. En tanto, la petrolera trajo a la única empresa productora de ese metal en Estados Unidos, Hanna Mining Co.

El Banco Mundial aceptó financiar a Hanna Mining en 300 millones de dólares si el proyecto se aseguraba en la comercialización y en la energía. Para Billiton de Holanda (subsidiaria de Shell Petroleum Company), la comercialización resultó bastante interesante y así se unió como inversionista. Para enfrentar la debilidad del Joint Venture respecto a que cada uno debía financiarse por separado, se creó Cerro Matoso S.A.

Nueve años después de creada la empresa, comenzó la explotación y se inició la construcción de la planta que tuvo un costo de 362,5 millones de dólares que fueron aportados por los accionistas (41.1%), Chase Manhattan Bank (33.1%), Banco Mundial (22.1%) y Eximbank (3.4%).

El primero de octubre de 1982 se produjo la primera libra de ferroníquel de Cerromatoso con costos de producción que superaban en 0,7 dólares el precio internacional de 1,8 dólares la libra por lo que fue necesario pactar un esquema de regalías por fórmula. A menos de tres años de producción el horno falló y la empresa debió dejar de operar durante varios meses (foto 3).

En 1989 Hanna Mining se retira dejando a Billiton con el 53% y al IFI con el 47%. Por temor a más fracasos el gobierno le prohíbe al IFI hacer inversiones adicionales, de forma que para saldar la deuda existente se propuso un único pago que se haría en 2007 dejando abierta la posibilidad de hacer abonos parciales en la medida en que la capacidad de la empresa lo permitiera.

Foto 3. Cerromatoso en el año 1982.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

En 1994, la Shell vendió su subsidiaria Billiton a la empresa Gencor Ltd. de Sur África. Con el comienzo de la privatización de la inversión del IFI en 1996 se prorroga la concesión del 2007 al 2012 y para hacerlo más atractivo se firmó un contrato con Mineralco de 30 años más prorrogables otros 15 años. En 1997 IFI vende sus acciones y así Billiton consolida el 98% y los empleados adquieren el 2%.

Este mismo año se inicia el estudio de prefactibilidad de una segunda línea de producción que permitiera duplicar el volumen de mineral procesado. Dos años después, coincidiendo con el inicio de la construcción de la segunda línea, hubo una venta masiva por parte de los empleados y Billiton alcanza el 99.9% de propiedad; hoy, mantiene un contrato de comercialización y venta del ferroníquel con la Billiton Marketing and Trading B.V. de Holanda.

La construcción de la segunda línea de producción que culminó en enero de 2001, demandó una inversión superior a los 300 millones de dólares y fue proyectada para elevar la producción a 120 Mlb/año, el mismo año tuvo lugar la fusión de las empresas Billiton y BHP.

Paralelamente se había efectuado la expansión de la mina, la reconfiguración de las etapas de trituración, la ampliación de la capacidad para las pilas de almacenamiento, la instalación de dos reclamadores mecánicos, un secador y un calcinador rotatorio, un horno eléctrico de fundición y una subestación eléctrica adicional³.

Desde 2003 la segunda línea se encuentra operando a plena capacidad lo que sumado a que se considera como una de las minas de níquel con menor costo marginal del mundo, hace pensar en excelentes condiciones futuras para Cerromatoso. Esta línea, construida con las más avanzadas tecnologías le ha permitido duplicar su capacidad de producción y a su vez optimizar sus costos operativos (foto 4).

Foto 4. Cerromatoso en la actualidad.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La mina de Cerromatoso se encuentra en Colombia (Suramérica), ubicada a 22 Kilómetros de la cabecera Municipal de Montelíbano, en el Departamento de Córdoba (figura 1).

³ www.imcportal.com. 25 años de producción en Cerromatoso: las duras y las maduras. IMC Portal, 10 de septiembre de 2007.

Figura 1. Localización y ubicación geográfica de Cerromatoso S.A.



Fuente: Microsoft®Encarta®2008.

1.4 PROCESO PRODUCCIÓN DE FERRÓNÍQUEL

1.4.1 Mina. El proceso de producción se inicia en la mina, donde de acuerdo con los planes de extracción, voladuras controladas y equipos de grandes dimensiones se extrae el material para cargarlo en camiones capaces de mover 50 toneladas métricas.

Estos lo transportan hasta el patio de trituración en donde son dejados en pequeñas pilas de composición química uniforme para que sean utilizadas en la siguiente etapa del proceso.

1.4.2 Preparación de Mineral. La Unidad de Negocio de Preparación de Mineral, es la encargada de triturar los materiales y construir una pila de aproximadamente 100.000 toneladas la cual proveerá el mineral al proceso durante aproximadamente 10 días.

El mineral de la pila es reclamado mediante un sistema automático y es alimentado a la siguiente etapa del proceso en donde su humedad natural es removida en hornos secadores.

Una vez el mineral está seco con una humedad no superior al 11% es almacenado en silos desde donde se alimentará a los calcinadores, el mineral es reclamado de los silos utilizando bandas transportadoras en las que se le adiciona el carbón y es llevado a los hornos calcinadores de la Unidad de Negocio de Calcinación-Fundición.

1.4.3 Calcinación. Los hornos calcinadores son dos hornos rotatorios operados con gas natural, en los cuales el mineral más el carbón son calcinados a 850 °C, lo cual hace que se produzca un cambio químico que convierte parcialmente los óxidos de níquel y de hierro en níquel metálico y hierro metálico.

Este producto es llamado calcina, la cual se lleva en contenedores al tope del edificio de fundición para alimentar las tolvas de carga, desde las cuales es alimentada a los hornos eléctricos, cada uno de ellos de 75 Mw., en los que se termina el proceso de reducción del hierro y del níquel empezado en los calcinadores, separando así las fases de escoria y metal.

1.4.4 Fundición. El metal Ferroníquel, es extraído de los hornos eléctricos a una temperatura aproximada de 1450 °C, y vaciado en crisoles de 50 toneladas de capacidad, los cuales son entregados a la Unidad de Negocio de Refinación.

La escoria también es granulada y transportada en camiones a botaderos técnicamente diseñados y monitoreados para asegurar que no afecten el medio ambiente. Las áreas cerradas de los botaderos son rehabilitadas mediante el programa de revegetación que se tiene establecido para este propósito.

1.4.5 Refinación. En la Unidad de Negocio de Refinería se le remueven las impurezas al ferroníquel para ajustarlo a las especificaciones exigidas por el mercado mundial. El proceso termina con la granulación y el empaque del producto final para posteriormente exportarlo (foto 5).

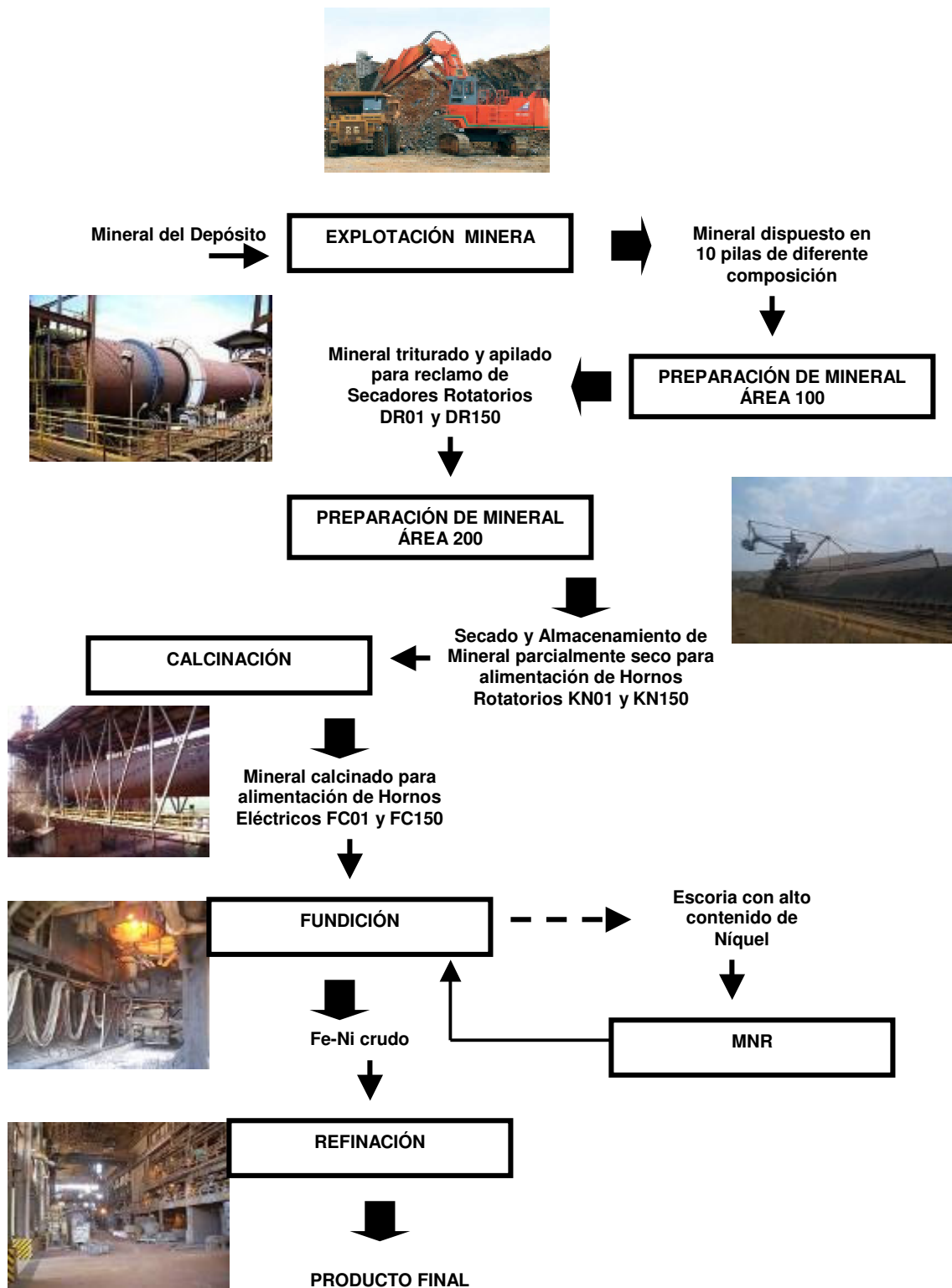
Foto 5. Ferroníquel granulado.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

La operación Minero-Metalúrgica cumple los más estrictos estándares internacionales en temas como Seguridad Industrial, Salud Ocupacional, Calidad, Protección Ambiental y Relaciones con la Comunidad.

Figura 2. Proceso Producción de Ferroníquel.



La producción de la mina es exportada en un 99% a Asia (especialmente a China y Japón), Estados Unidos y Europa, en forma granulada con un contenido de 42% de Ni. Las reservas fueron estimadas para una explotación de cuarenta años y es operada en la actualidad por la multinacional BHP Billiton.

La materia prima es de alta calidad (2.89% de Ni), constituida por óxidos y silicatos de níquel con alto contenido de hierro (44.5%). El mineral beneficiado alcanza una cifra del orden de 12 millones de toneladas métricas anuales, para una producción de 50.000 toneladas de níquel al año (110.000.000 Mlb/año - 300.000 lb/día).

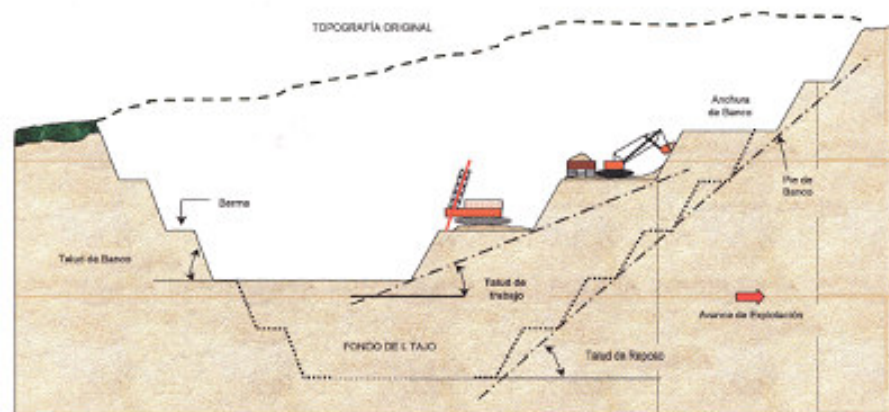
1.5 EXPLOTACIÓN MINERA

La minería a cielo abierto consiste en la extracción por separado de la totalidad de la sustancia mineral y estéril que se encuentra en el depósito, hasta una profundidad determinada por las condiciones propias del yacimiento.

Esencialmente es una excavación abierta al aire para extraer el recurso mineral del subsuelo, este sistema se emplea cuando la relación entre el volumen de estéril y mineral (toneladas, m^3 , relación de descapote) permita una explotación económicamente rentable.

Esta minería ofrece, entre otras ventajas, un mayor grado de mecanización, seguridad y mayores volúmenes de extracción que la minería subterránea⁴ (figura 3).

Figura 3. Explotación minera a cielo abierto.



Fuente: Introducción a la Geología y Minería del Carbón para Ingenieros.

⁴ Ministerio de Minas y Energía – Guía Minero Ambiental No. 2. Explotación. Pág. 39.

Las principales características de este método de explotación son:

- Extracción del estéril con voladura o medios mecánicos.
- Conjunto de capas con espesores variables.
- Valores mínimos de corte.
- Minerales marginales.
- Capas con inclinaciones superiores a 20°.
- Capacidad portante de la roca.

El método de explotación minera en CMSA es a cielo abierto, es el método más avanzado técnicamente. Se caracteriza por mover grandes volúmenes de material estéril. El diseño comprende una serie de bancos de extracción ubicados en el macizo rocoso o mineralizado, que por su buzamiento obligan a una profundización de la excavación.

Los materiales estériles pueden ser dispuestos en la parte externa o interna del tajo. Estas explotaciones pueden realizarse de manera longitudinal, transversal o mixta (foto 6).

Foto 6. Explotación minera en Cerromatoso S.A.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

Para garantizar una explotación eficiente y económica del material, se dispone de equipos mineros de grandes dimensiones para garantizar que el proceso metalúrgico opere continuamente a lo largo de todo el año. Estos equipos son:

1.5.1 Equipo de Cargue.

- **Pala Hidráulica Hitachi EX1100.** La función de este equipo es arrancar el material estéril y cargarlo en los camiones, mantener el área nivelada y despejada de materiales rocosos que puedan ocasionar daño a las llantas de los camiones. Su cargue promedio es de 15 Ton por movimiento. Están identificadas internamente con el grupo M100 y son tres en total (foto 7).

Foto 7. Pala Hidráulica Hitachi EX1100.



Fuente: <http://www.hitachi-c-m.com/global/products/excavator>

- **Cargadores CAT 990II.** Son los encargados de cargar el mineral en los camiones, alimentar la tolva del patio de trituración, cargar el material de la pila que los reclamadores no alcanzan a recoger y remanejo de lodos. Su cargue promedio es de 15 Ton por movimiento. Están identificados internamente con el grupo M200 y son siete en total (foto 8).

Foto 8. Cargadores CAT 990II.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

1.5.2 Equipo de Acarreo. Se utilizan camiones CAT 773D y 773E para el transporte a los botaderos del material estéril, material de rechazo, escoria, remanejo de lodos y el mineral al patio de trituración. Su capacidad de cargue es de 50 Ton. Están identificados internamente como el grupo M300 y son 16 en total (foto 9).

Foto 9. Camión CAT 773D.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

1.5.3 Equipo de Soporte.

- **Tractores CAT D9R.** Sus funciones son empujar los materiales estériles en los botaderos, construcción de bermas y mantener su nivel, desmonte, compactación de pilas en el patio de trituración, construcción de rampas, limpieza de áreas para perforación, corte de material, soporte en frentes de cargue, adecuación de pisos y vías de acarreo. Su capacidad de empuje es de 30 Ton. Están identificados internamente como el grupo M400 y son 10 en total (foto 10).

Foto 10. Tractor CAT D9R.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

- **Motoniveladoras CAT 16H.** Su función es limpiar, corregir baches y nivelar vías de acarreo. La capacidad de empuje es de 20 Ton. Están identificadas internamente como el grupo M500 y son 4 en total (foto 11).

Foto 11. Motoniveladora CAT 16H.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

- **Carro riego CAT 773D.** El propósito del riego es el de mitigar la polución en frentes de cargue, patio de trituración y botaderos; también hacen el riego de las vías internas y externas de la mina. Su capacidad de almacenamiento es de 8.000 gls. Están identificados internamente como el grupo M900 y son 2 en total (foto 12).

Foto 12. Carro riego CAT 773E.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

1.5.4 Equipo de Perforación. Su función es hacer barrenos a los cuales se le adiciona una solución con explosivo nitrato de amonio y emulsión combustible para realizar voladuras de superficie en las fases de exploración y explotación. Son tres perforadoras DrillTech D25KS y están identificadas internamente como el grupo M600 (foto 13).

Foto 13. Perforadora DrillTech D25KS.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

1.6 ENTORNO SOCIAL.

Desde su creación, Cerromatoso se impuso un gran reto; ser líder mundial en la producción de níquel, contribuir al desarrollo sostenible de la región y convertirse en un sitio de trabajo preferido en Colombia. Con esta visión, se inició la construcción de obras de infraestructura en la región, se mejoró sustancialmente la prestación de servicios públicos y se han llevado a cabo múltiples proyectos orientados al desarrollo económico y social de la comunidad.

En Cerromatoso se considera la salud ocupacional, la seguridad industrial, las responsabilidades con la comunidad y el cuidado del ambiente, parte integral de todas las actividades y procesos; por esta razón, se han implementado estrictas políticas para lograr estos objetivos.

1.6.1 Gestión Ambiental. En el ámbito ambiental, en CMSA se trabaja permanentemente en todos los frentes para controlar y minimizar los impactos sobre el entorno, utilizar eficientemente los recursos naturales, recuperar las áreas intervenidas y restituir así las características originales del ecosistema. En este campo se destaca la creación del parque ecológico contemplativo de Montelíbano, siete hectáreas dedicadas para el esparcimiento, la recreación y el estudio de la fauna, la flora y los ecosistemas de la región.

1.6.2 Responsabilidad Social. CMSA está comprometido con el desarrollo integral de la comunidad y busca mejorar las condiciones de vida a través de tres fundaciones:

- Fundación Panzenú. Ofrece servicios de salud de alta calidad a trabajadores de CMSA y sus familias.
- Fundación Educativa Montelíbano - FEM. Desde 1981, ha venido ofreciendo un servicio educativo de calidad a los hijos de los trabajadores y empleados de CMSA, sus tres fundaciones y a un porcentaje de niños y niñas de Montelíbano y Municipios próximos cuyos padres no dependen laboralmente de la empresa.
- Fundación San Isidro. Busca generar y apoyar oportunidades de empleo o ingresos en la comunidad. Para ello trabaja de la mano con la gente, ofreciendo capacitación, crédito y acompañamiento a los proyectos desde su creación hasta la consolidación de los mismos.

1.6.3 Empleo. Cerromatoso S.A., genera hoy cerca de mil empleos directos y con sus contratistas entre 2.000 y 2.500 indirectos.

1.6.4 Regalías. En cuanto a las regalías que genera su actividad en el país, estas subieron del 8 al 12%; entre 1982 y 2006, estas representaron 580.852 millones de pesos.

2. TEORÍA DEL MANTENIMIENTO

Entendemos por Gestión del Mantenimiento, la realización de diligencias encaminadas a determinar, organizar y administrar los recursos del mantenimiento, con el objeto de lograr la más alta disponibilidad de los equipos con sano criterio económico⁵.

La selección de un modo de gestión de mantenimiento se hace con base en las necesidades específicas de cada empresa; existen suficientes diferencias y alternativas entre las diferentes opciones. La escogencia individual del modo de gestión del mantenimiento es indiferente del momento y estado que viva la empresa, puede llegar a ser uno de los grandes pecados estratégicos que conduzcan a resultados deficientes de mantenimiento en el mediano o largo plazo.

Se debe proceder con un diagnóstico inicial integral, tener muy claro con qué instrumentos se cuenta y cuáles faltan por desarrollar; en especial tener un panorama claro de la ubicación física de los equipos relevantes y/o críticos con sus curvas de tasas de fallas, de tal forma que haya coherencia entre los estados de los equipos y el modo de gestión que se desea implementar. El comentario es que en parte la decisión debe partir de la premisa de la fase en que se encuentra en la curva de la bañera los equipos importantes, las unidades de producción y sobretodo la empresa en conjunto.

2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente. Este tipo de mantenimiento es el más común y conocido por los encargados, jefes e ingenieros de mantenimiento. Por lo general obliga a un riguroso conocimiento del equipo y de las partes susceptibles a falla, a un diagnóstico acertado y rápido de las causas.

Esta forma de mantenimiento ocasiona grandes pérdidas por no tomar en cuenta los costos de producción generados por el paro imprevisto del equipo. El mantenimiento correctivo se justifica cuando el equipo no se halla en una línea de producción o punto crítico del proceso, no ocasiona serios trastornos a la producción o al mantenimiento.

⁵ GONZÁLEZ B., Carlos Ramón. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de Mantenimiento, pág. 28.

Se llama Equipo Crítico al que:

- Su paro interrumpe el flujo normal de producción.
- Causa problemas ambientales ó de seguridad.
- Desperdicia energía.
- Su paro ocasiona demoras en la entrega a los clientes.
- Es costoso de mantener.
- Requiere reparaciones frecuentes.
- Sus repuestos son difíciles de conseguir.

Por lo tanto, el simple hecho de que un equipo no sea catalogado como un equipo crítico según las anteriores consideraciones, es una justificación para aplicar el mantenimiento correctivo en este equipo. Sin embargo, estas justificaciones deben revisarse periódicamente hasta comprobarse que efectivamente el paro imprevisto de este equipo no ocasiona trastornos graves a la producción, ya que la consideración de crítico puede variar con el tiempo.

El mantenimiento correctivo no es puramente esperar a que un equipo falle para proceder a repararlo, tiene una connotación mucho más importante en el proceso operativo del sistema de mantenimiento; es decir, cualquiera que sea el tipo de gestión siempre termina en el correctivo. En síntesis puede decirse que ***“el mantenimiento correctivo puede ser planificado mediante acciones proactivas ó no planificado como solución a emergencias”***, este último es seguramente el tipo de gestión más costoso y que más problemas ocasiona, ya que:

- Requiere más personal para las actividades de mantenimiento.
- Paros continuos que amenazan la producción.
- El lucro cesante es siempre mayor.
- Ocasiona malestar en el personal y es fuente de conflictos.
- Los equipos pueden sufrir daños irreparables.
- Se compromete la calidad del producto.

2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es el mantenimiento que se ejecuta a los equipos de una Planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas imprevistas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de las máquinas⁶. Se pueden lograr bajos costos y un tiempo mínimo de parada con un balance apropiado entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

⁶ GONZÁLEZ B., Carlos Ramón. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de Mantenimiento, pág 39.

Puede prevenir que las fallas ocurran en mal momento, sensar cuando la falla está próxima a ocurrir y repararla antes de que ocurra el daño.

“Cada vez que un equipo es intervenido, está expuesto a un daño potencial, es excesivamente costoso reemplazar componentes prematuramente”.

Para lograr los plenos beneficios del mantenimiento preventivo, su programa mínimo se debe complementar con un buen análisis, planificación y programación de los trabajos, así como también se debe establecer una documentación operativa mínima y funcional. Los elementos básicos del mantenimiento preventivo son:

- Parte a inspeccionar.
- Instante en que debe inspeccionarse.
- Control sobre el cumplimiento de la inspección.

Usualmente se le asocia con una frecuencia determinada a la cual se realizan las inspecciones y actividades de mantenimiento. Existen tres razones para hacer mantenimiento preventivo:

- Prevenir las fallas.
- Detectar el comienzo de la falla.
- Descubrir una falla oculta.

Desafortunadamente, no es posible prevenir todas las fallas de los equipos, pero eso no significa que nuestra habilidad para realizar las tareas de mantenimiento preventivo deba terminar allí. Evitar que una pequeña avería se convierta en un daño mayor, puede hacerse por medio de la detección y prevención oportuna de la avería. La inspección es el elemento fundamental del Mantenimiento Preventivo, consiste en observar cuidadosa y detenidamente el estado del elemento en cuestión, buscando desgastes, desajustes, piquetes, erosiones, grietas, fisuras, etc., y registrar detalladamente las observaciones en documentos destinados para tal fin.

El intervalo de inspección debe estar basado en la estabilidad, el propósito y el grado de uso. Si los registros iniciales indican que el equipo permanece dentro de la precisión requerida en las calibraciones sucesivas, los intervalos se pueden ampliar. Si por el contrario, el equipo requiere ajustes o reparaciones frecuentes, el intervalo se debe acortar.

Los registros del equipo proveen información para propósitos de otro mantenimiento preventivo. Toda orden de trabajo sobre un equipo se debe registrar en una base de datos donde se pueda buscar por equipo el historial de fallas y reparaciones, estos proveen información vital para el análisis de efectividad del sistema de mantenimiento.

Las partes esenciales que se deben incluir en un registro son:

- Número de identificación del equipo.
- Nombre del equipo.
- Producto/Grupo/Clase de equipo.
- Localización.
- Uso de lecturas de medida.
- Intervalos de mantenimiento.
- Uso por día.
- Último mantenimiento preventivo vencido.
- Siguiente mantenimiento preventivo vencido.
- Tiempo del ciclo para mantenimiento preventivo.
- Oficios requeridos, número de personas y el tiempo para cada uno.
- Partes requeridas.

2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros, para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en que período de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para así poder planificar todas las tareas proactivas con tiempo suficiente para que esa avería nunca tenga consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos.

La predicción del comportamiento de los parámetros se hace a través de las ciencias: matemáticas, estadísticas, proyectivas, prospectivas, correlacionales, aleatorias, univariantes, bivariantes y multivariantes, etc. Una de las características más importantes de este tipo de acción de mantenimiento es que no debe alterar el funcionamiento normal del equipo mientras se está aplicando⁷.

La inspección y evaluación de los parámetros se puede realizar en forma periódica o en forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de actividad, los tipos de falla por diagnosticar y la inversión que se quiera realizar.

Algunas ventajas del mantenimiento predictivo son:

- Reduce el tiempo de parada al conocer exactamente qué componente es el que falla.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.

⁷ MORA G., Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios – Enfoque Sistemático Kantiano. Pág 266.

- Realiza la verificación de la condición de estado y monitoreo en tiempo real de la maquinaria, tanto la que se realiza en forma periódica cómo la que se hace de carácter eventual.
- Maneja y analiza un registro de información histórica vital, a la hora de la toma de decisiones técnicas en los equipos.
- Define los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de aparición de condiciones no estándares.
- Posibilita la toma de decisiones sobre la parada de un equipo en momentos críticos.
- Facilita la confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Provee el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Aplica el análisis estadístico del sistema.

El principal inconveniente del mantenimiento predictivo es de tipo económico. Para cada equipo es necesaria la instalación de equipos de medición de parámetros que puedan ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caídas de temperatura, ruidos, vibraciones, agrietamientos, etc. Las técnicas de mantenimiento predictivo aplicables a componentes del tren de potencia de equipos mineros son:

- Inspección visual, acústica y al tacto de componentes
- Termografía
- Vibraciones
- Análisis de aceite

2.3.1 Inspección visual, acústica y al tacto de componentes. La permanente vigilancia durante la operación o el mantenimiento de equipos, juega un rol importante en los instrumentos avanzados para detectar fallas o condiciones fuera del estándar. La presencia visual de desgastes, situaciones anormales y ruidos indican que se está ante la presencia de un generador de falla, que puede evitarse tomando las acciones correctivas correspondientes.

2.3.2 Termografía. La utilización de aparatos térmicos para el control y vigilancia de variables de condición en las máquinas es una herramienta avanzada muy útil en la detección potencial de fallas y situaciones fuera de estándar, entre ellos sobresalen: termómetros, termistores, pinturas, polvos térmicos, termostatos, cámaras de rayos infrarrojos, sensores de temperatura, sensores de contacto, sensores basados en dilatación o expansión de líquidos, sensores bimetálicos en expansión, termopares, termocuplas, termoresistencias, testigos de color, bolas (pellets), sensores sin contacto, pirómetros ópticos y de radiación, cámaras infrarrojas, etc., (figura 4).

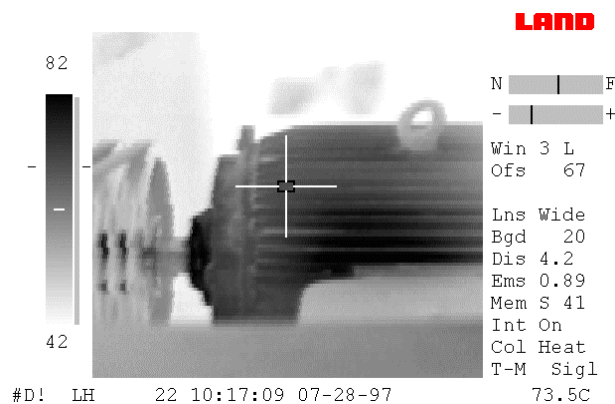
Figura 4. Cámara termográfica.



Algunas de las fallas que se pueden evidenciar con el control de temperatura son: daños en rodamientos, defectos en sistemas de refrigeración, sistemas de generación de calor o manejo energético, depósitos y sedimentos de materiales no deseados, daños en aislamientos, condiciones no estándares en sistemas eléctricos, etc.

La termografía nos permite ver los patrones térmicos invisibles correspondientes a la radiación térmica emitida por un cuerpo. Nos permite sin contacto alguno identificar componentes eléctricos, mecánicos y térmicos más calientes de lo que deberían estar, indicando una falla inminente en el área analizada, o pérdidas excesivas de calor que nos muestran un aislamiento defectuoso⁸ (figura 5).

Figura 5. Termograma.



⁸ MARTÍNEZ, William. Termografía. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007. Presentación.

Otra ventaja de la termografía es que no exige registro histórico pues un punto de comparación con otros equipos que trabajan en condiciones similares, es suficiente. La desventaja es que ubica el sitio del daño pero no identifica el tipo de problema.

2.3.3 Vibraciones. La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una maquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración, reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

El establecimiento de patrones en condiciones normales de operación, permite diferenciar de situaciones fuera del estándar, esto se logra con una de las metodologías más certeras en el diagnóstico y monitoreo de equipos y componentes, a través de las vibraciones⁹. Detecta defectos internos como: desalineaciones de rodamientos y poleas, desequilibrios dinámicos, desgastes de engranajes, sobrecargas, ejes defectuosos, etc., (figura 6).

Figura 6. Medición de vibraciones.



Las etapas seguidas para medir y/o analizar una vibración, que constituyen la cadena de medición, son:

- Etapa Transductora.
- Etapa de acondicionamiento de la señal.
- Etapa de análisis y/o medición.
- Etapa de registro.

⁹ AGUILAR LEÓN, German Stephan. Vibraciones Mecánicas. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007. Pág. 16.

Para la medición de vibraciones en el exterior de las máquinas y en las estructuras hoy en día se utiliza fundamentalmente los acelerómetros. El acelerómetro tiene la ventaja respecto al velocímetro de ser más pequeño, tener mayor rango de frecuencia, y poder integrar la señal para obtener velocidad o desplazamiento vibratorio.

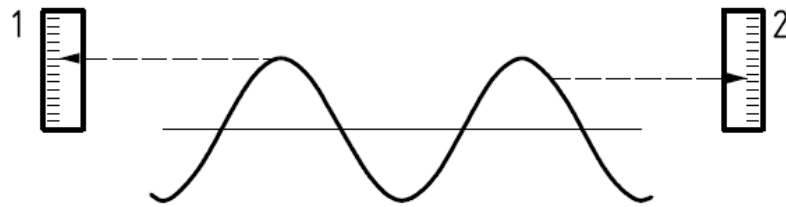
El sensor de desplazamiento se utiliza para medir directamente el movimiento relativo del eje de una máquina respecto a su descanso. Para la selección adecuada del sensor se debe considerar, valor de la amplitud a medir, temperatura de la superficie a medir y fundamentalmente el rango de las frecuencias a medir.

La etapa de acondicionamiento de la señal consiste en acondicionar la señal que sale del transductor para que pueda ser medida adecuadamente. Esto contempla en algunos casos, dependiendo del tipo de transductor, filtraje, integración, amplificación o demodulación.

Una vez acondicionada la señal ésta puede ser medida o analizada. Un analizador de vibraciones es un instrumento que realiza análisis espectral. Un medidor de vibraciones es un instrumento que mide el valor pico, pico a pico o RMS de la vibración. Las diferentes formas en que se puede valorar la intensidad o amplitud de una vibración son las siguientes:

- **Valor pico.** Partiendo del nivel cero o posición de equilibrio, es el máximo valor obtenido en la onda de vibración. Útil para indicar niveles de choque de corta duración y para determinar los valores de unidades derivados del tiempo como velocidad y aceleración. Denominado ocasionalmente de “cero a pico”.
- **Valor pico a pico.** Indica la amplitud total de la onda de la señal, utilizado principalmente como base para las unidades de desplazamiento. Útil cuando el desplazamiento es crítico por los esfuerzos generados o por el espacio disponible.
- **Valor Medio Eficaz (RMS – Root Mean Square).** Es el valor más significativo de la amplitud de vibración, pues es el valor total de la vibración registrada en un rango de frecuencia relacionado directamente con la energía. Muchas de las normas de vibración se basan en este valor para establecer límites de condición aceptable. Nos indica de otra forma la capacidad destructora de la vibración (figura 7).

Figura 7. Valor Pico (1) y RMS (2) de una vibración.

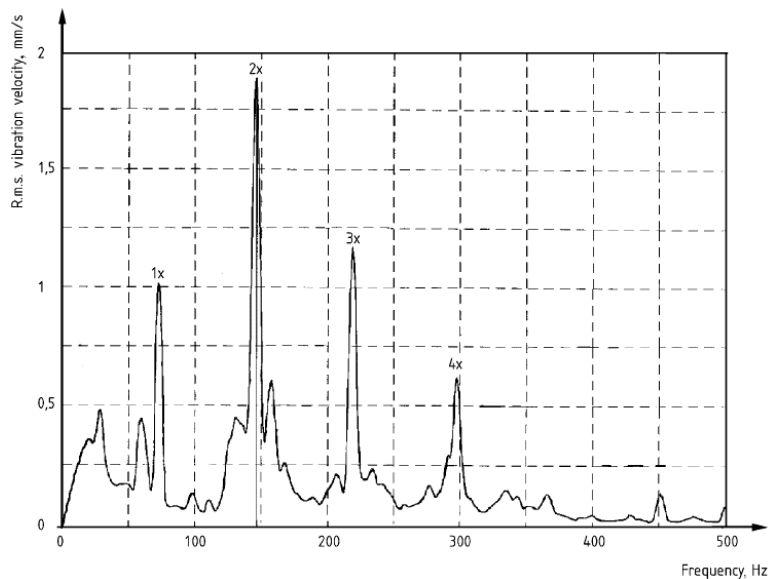


Fuente: ISO 13373-2. Vibration Condition Monitoring. Part 2.

El objetivo del análisis de vibraciones es poder extraer el máximo de información relevante que ella posee. Para esto existen diferentes técnicas de análisis tanto en el dominio tiempo como en el dominio frecuencia, las cuales tienen sus propias ventajas para algunas aplicaciones en particular. A continuación se presentan algunas de las técnicas más utilizadas en la inspección de máquinas.

- **Análisis Espectral.** La esencia del análisis espectral es descomponer la señal vibratoria en el dominio del tiempo en sus componentes espectrales de frecuencia. Esto permite, en el caso de las máquinas, correlacionar las vibraciones medidas generalmente en sus descansos, con las fuerzas que actúan dentro de ella (figura 8).

Figura 8. Espectro de Frecuencias.

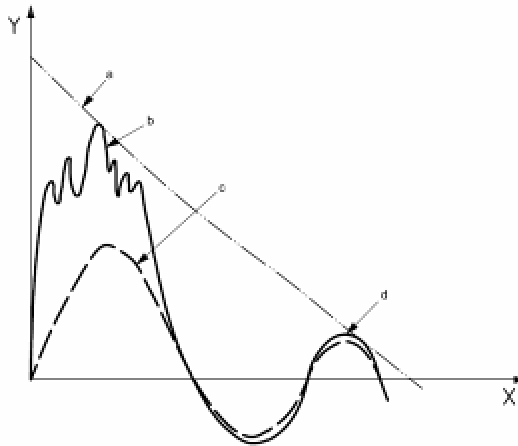


Fuente: ISO 13373-1. Vibration Condition Monitoring. Part 1

- **Análisis de la forma de onda.** El análisis de la forma de la vibración en el tiempo a veces puede proveer información complementaria al análisis espectral. Este análisis es adecuado para reconocer los siguientes tipos de problemas:

- Impactos.
- Rozamientos intermitentes.
- Modulaciones en amplitud y frecuencias.
- Transientes.
- Truncaciones.

Figura 9. Vibración transiente.



Fuente: ISO 13373-2. Vibration Condition Monitoring. Part 2.

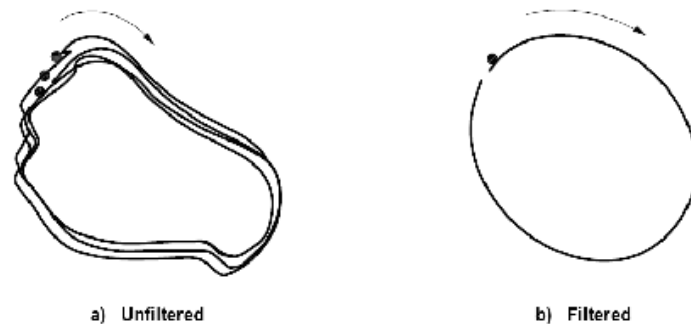
- **Análisis de fase de vibraciones.** Se puede definir la diferencia de fase entre dos vibraciones de igual frecuencia como la diferencia en tiempo o en grados con que ellas llegan a sus valores máximos, mínimos o cero.

El análisis de diferencias de fase a la velocidad de giro de la máquina entre las vibraciones horizontal y vertical o entre las vibraciones axiales de los diferentes descansos del sistema motor-máquina, permite determinar los movimientos relativos entre ellos, y diferenciar entre problemas que generan vibraciones a frecuencia 1x rpm:

- Desbalanceo.
- Desalineación.
- Eje doblado.
- Resonancia.
- Poleas excéntricas o desalineadas.

- **Análisis de orbitas.** Combinando dos señales vibratorias captadas por sensores ubicados relativamente entre ellos a 90° (vertical y horizontal) en un descanso de la máquina se puede obtener el movimiento del eje en el descanso o su órbita (figura 10).

Figura 10. Vibración de Ejes Orbitales.



Fuente: ISO 13373-2. Vibration Condition Monitoring. Part 2.

- **Detección Envelope.** Las señales de vibración creadas por rodamientos o contactos de dientes en engranajes presentan amplitudes muy bajas a altas frecuencias mayores que la rotacional y las señales de vibración estructural. El objeto de la técnica de enveloping (envolvente) es filtrar las frecuencias de vibración bajas, propias de la rotacional del equipo y permitir que los componentes repetitivos de las señales de defecto de los rodamientos sean visibles o detectables¹⁰ (figura 11).

Figura 11. Análisis Envelope de vibraciones.



Fuente: ISO 13373-2. Vibration Condition Monitoring. Part 2.

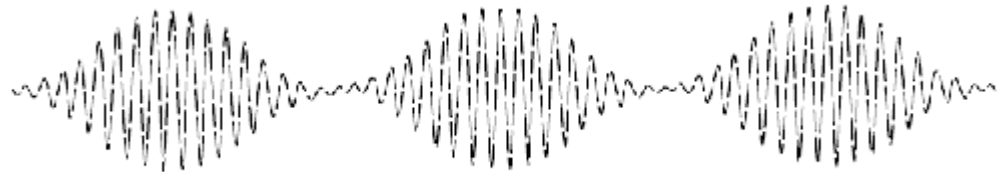
¹⁰ AGUILAR LEÓN, German Stephan. Vibraciones Mecánicas. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007. Pág. 38.

La detección Envelope es muy común para análisis de elementos rodantes de rodamientos y de engranajes donde su baja amplitud puede tapar la señal con vibraciones estructurales. Se utiliza para diagnosticar fallas tempranas de estos elementos, así como en detección de problemas eléctricos en motor y rotor. Puede ser visualizado en el mismo tipo de espectro que las unidades principales, en FFT u onda de tiempo. Su unidad es G'_{env} .

- **Análisis de Demodulaciones.** El análisis de demodulaciones en amplitud consiste en analizar la envolvente de la señal temporal de una señal modulada (figura 12). Este análisis permite determinar más fácilmente la periodicidad de las modulaciones y diagnosticar problemas tales como:

- Rodamientos picados.
- Engranajes excéntricos o con dientes agrietados.
- Deterioro de álabes en turbinas.
- Problemas eléctricos en motores.

Figura 12. Análisis de Demodulación.



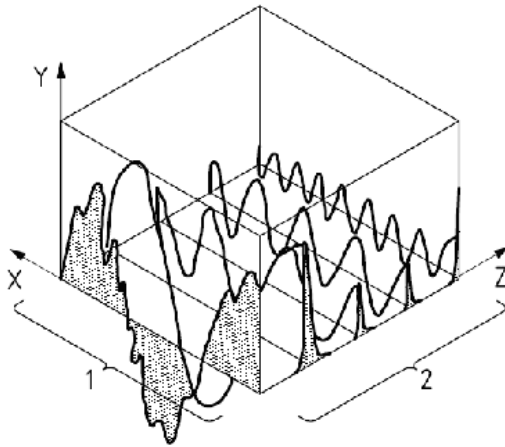
Fuente: ISO 13373-2. Vibration Condition Monitoring. Part 2.

- **Análisis por Transformadas tiempo-frecuencia.** El análisis espectral es adecuado para analizar vibraciones compuestas de componentes estacionarias durante su período de análisis. Esto indica qué efectos transientes de la vibración son promediados en el período de análisis, perdiéndose información sobre la naturaleza o forma de estas vibraciones.

Existe entonces la necesidad de un análisis que describa mejor señales no estacionarias o transientes. Esto se consigue con las distribuciones o transformadas tiempo-frecuencia.

Las transformadas tiempo-frecuencia son análisis tridimensionales amplitud-tiempo-frecuencia, es decir, se agrega una nueva dimensión (el tiempo) a la clásica FFT (figura 13).

Figura 13. Dominio tiempo y frecuencia de una vibración.



Fuente: ISO 13373-2. Vibration Condition Monitoring. Part 2.

2.3.4 Análisis de aceite. La detección temprana de fallas de la máquina y el desgaste anormal, es a lo que frecuentemente se refiere como el dominio exclusivo del análisis de aceite en el campo del mantenimiento. El análisis de aceite es un extenso campo que comprende cientos de pruebas individuales, que proporcionan beneficios significativos mediante la valoración de una o más de las propiedades de un lubricante o máquina. Muchas de las pruebas proporcionan información sobre los aceites nuevos, en las que se evalúan las propiedades físicas, químicas o de lubricación, para el control de calidad, desarrollo de productos y clasificación de desempeño de productos¹¹.

El análisis de aceite en uso, difiere substancialmente del análisis de aceite nuevo, el objetivo del análisis de aceite en uso, es evaluar la condición de los aceites que están en servicio y evaluar la condición de las máquinas que son lubricadas. En aplicaciones de monitoreo de condición de maquinaria, el lubricante sirve simplemente como el vehículo de información que es generada en la máquina en la forma de contaminación o partículas de desgaste.

En el análisis de aceite en uso, se realizan regularmente un pequeño número de pruebas para soportar decisiones importantes acerca de la máquina y del lubricante. Esencialmente, el análisis de aceite se efectúa para mejorar la calidad en las decisiones de mantenimiento de la máquina y lubricación. Hay tres categorías importantes del análisis de aceite:

¹¹ TROYER, Drew, FITCH, Jim. Oil Analysis Basics en Español. Noria Corporation. México. 2004. Pág. 36.

- **Análisis de las propiedades de los fluidos:** esta categoría del análisis de aceite trata de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y de los aditivos del aceite.
- **Análisis de contaminación:** los contaminantes son materia externa que se introduce al sistema desde el medio ambiente o es generada internamente. La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina y promueve la falla del lubricante. El análisis de aceite asegura que las acciones encaminadas al cumplimiento de la meta de control de contaminación se mantengan.
- **Análisis de partículas de desgaste:** cuando los componentes se desgastan, generan partículas. El monitoreo y análisis de las partículas generadas permite a los técnicos detectar y evaluar condiciones anormales para que se puedan hacer e implementar decisiones de mantenimiento efectivas para controlar el desgaste.

Conteo de partículas. El método de conteo de partículas proporciona la cantidad de partículas que hay en el aceite en un rango específico de tamaños por volumen de fluido (usualmente por ml o 100 ml). La concentración de partículas y sus datos de distribución deben expresarse en términos de Códigos de niveles de contaminación sólida ISO 4406 y NAS 1638. Las partículas pueden ser contadas manualmente con técnicas de microscopio óptico (test de parche), o automáticamente usando contadores de partículas ópticos o de bloqueo de poro (figura 14). Estándares aplicables: ISO 11171, ISO 4406, ISO 11500.

Figura 14. Contador de Partículas Minilab 5200.

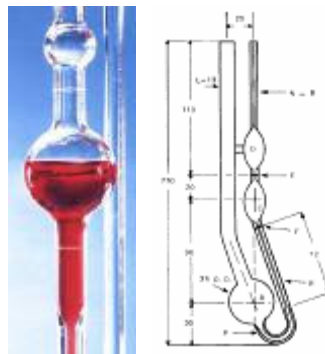


Fuente: www.assetweb.com

Prueba de Viscosidad. La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Se determina midiendo el tiempo en segundos, que requiere un nivel determinado de fluido para fluir una distancia conocida, bajo gravedad a través de un capilar de un viscosímetro calibrado, bajo una presión y temperatura controlada estrechamente (figura 15). Este valor puede convertirse a las unidades de centistokes (cSt) o Segundos Saybolt Universales (SUS o SSU).

El reporte de viscosidad sólo es válido cuando se reporta la temperatura a la que la prueba se efectuó, por ejemplo 32 cSt @ 40°C. La viscosidad afecta la operación del equipo, pérdidas por fricción y el espesor de la película de aceite.

Figura 15. Prueba de viscosidad.



Aún los cambios más modestos en la viscosidad pueden afectar adversamente el desempeño y estabilidad del lubricante causando posiblemente contacto metal-metal y desgaste. El cambio en la viscosidad del lubricante es un síntoma común de la presencia de otros problemas. Estándares aplicables: ASTM D 445.

Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR). FTIR es un método que proporciona un medio rápido para monitorear múltiples parámetros del aceite simultáneamente. Para realizar esta prueba, se hace pasar una cantidad de espesor fijo de aceite al instrumento FTIR y se transmite energía infrarroja a través de la muestra de aceite (foto 14).

La energía infrarroja es absorbida en diferentes frecuencias por diferentes propiedades del aceite, sus aditivos y contaminantes. Se aplica una Transformada Rápida de Fourier (TRF) para crear un espectro de frecuencia de energía infrarroja atenuada, o energía infrarroja transmitida (método preferido). El espectro del aceite en uso se compara con la línea de base de un aceite nuevo idéntico para analizar los contaminantes como hollín, agua, glicol, combustible, solventes químicos, aditivos inhibidores de oxidación y antidesgaste, y degradación causada por nitración, oxidación y sulfatación (figura 16).

La espectroscopía infrarroja es única porque evalúa los componentes que constituyen la muestra de aceite a nivel molecular. Esta información es muy útil cuando se desea identificar la existencia de compuestos como aditivos y productos derivados de la oxidación.

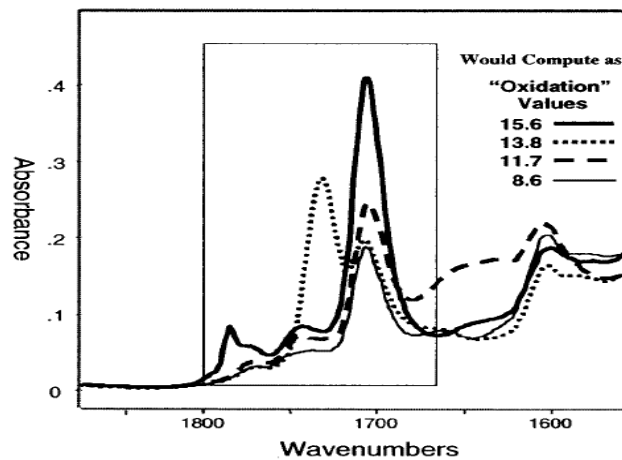
Foto 14. Espectroscopia Infrarroja FTIR.



Fuente: www.shell.ca/lubesolutions

La contaminación por agua, hollín, glicol, aceites de relleno incorrectos y solventes químicos puede monitorearse usando FTIR. El analista o el software buscan un pico espectral a frecuencias de absorción específicas llamadas números de onda. El hollín produce un cambio en el espectro de banda ancha, por ello se selecciona un número de onda en donde no ocurre ninguna actividad para la medición de hollín.

Figura 16. Espectros de aceite usado.



Fuente: ASTM E-2412. Standard practice for Condition monitoring of used lubricants by Trend analysis using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry.

Ferrografía Analítica. La ferrografía analítica implica el análisis de partículas de desgaste depositadas en un portaobjetos para hacer un ferrograma o en una membrana para analizar el filtrograma (figura 17). El análisis de la morfología de la partícula (forma), color, tamaño, capacidad de reflexión, apariencia de la superficie, detalle de los bordes, angulosidad, contenido de elementos y concentración relativa proporcionan al analista pistas acerca de la naturaleza, gravedad y causa raíz del problema de desgaste.

Figura 17. Ferrografía analítica.



Contenido de Agua por Karl Fischer. La prueba Karl Fischer se desarrolla comúnmente después de que la muestra es inspeccionada con la prueba de crepitación en plancha caliente o FTIR. Karl Fischer reporta el contenido de agua como concentración en porcentaje o en partes por millón (ppm) del agua “total” (libre y disuelta) en la muestra de aceite (foto 15). En la prueba, el aceite es titulado con un reactivo Fischer estándar que contiene yodo a un punto final electrométrico. La exactitud de la prueba se ve afectada por la presencia de aditivos que contienen azufre como los agentes anti-desgaste, inhibidores de corrosión y agentes anti-rayado EP.

Foto 15. Prueba Karl Fischer.



Fuente: www.shell.ca/lubesolutions

El agua corroe el hierro y superficies de acero, acelera la corrosión, agota y degrada los aditivos, promueve la oxidación del aceite básico y reduce la efectividad del lubricante. Grandes cantidades de agua forman emulsiones persistentes que al unirse con productos de oxidación insolubles forman lodo y pueden dañar de manera significativa la confiabilidad de la máquina. Además, el agua libre puede causar la formación de depósitos duros quebradizos en las superficies de los cojinetes y promover el desarrollo de bacterias. Estándares aplicables: ASTM D1744, ASTM D6304-98.

Espectroscopía de Elementos. La espectroscopia de elementos cuantifica la presencia de materiales inorgánicos disueltos y no disueltos por elemento. La mayoría de los espectrómetros usados en la actualidad para análisis de aceite son del tipo de emisión atómica. Estos instrumentos trabajan por la exposición de la muestra a temperaturas extremas generadas por un electrodo de alto voltaje o por plasma inductiva (foto 16).

El calor extremo volatiliza los átomos provocando que estos emitan energía en forma de luz. Cada elemento atómico emite luz a una frecuencia específica. El espectrómetro cuantifica la cantidad de luz generada a cada frecuencia y calcula la concentración de cada elemento (hierro, plomo, estaño, etc.) en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).

Foto 16. Espectroscopia de emisión atómica.



Fuente: www.shell.ca/lubesolutions

La mayoría de los espectrómetros reportan la concentración de 15 o más elementos. Los elementos reportados pueden proporcionar un indicador de incremento en la generación de desgaste, ingreso de contaminación o agotamiento de ciertos elementos aditivos. La espectroscopía de emisión atómica está limitada al tamaño de la partícula.

Los metales disueltos y las partículas suspendidas de hasta aproximadamente 2 micrones se detectan con gran precisión. La precisión de detección disminuye según aumenta el tamaño de la partícula hasta 5 micrones. Las concentraciones de elementos pueden ser muy imprecisas para partículas mayores a 5 micrones. Estándares Aplicables: ASTM D4951.

2.4 MANTENIMIENTO PROACTIVO

El mantenimiento proactivo es un modo de gestión de mantenimiento, dirigido fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas inmediatas que generan el desgaste han sido localizadas, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria ya que, de hacerlo, su vida y desempeño se ven reducidos.

La longevidad de los componentes de los equipos depende de que los parámetros de causa de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de detección y corrección de las desviaciones según el programa de proactivo. Límites aceptables significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio¹².

El mantenimiento proactivo se define como la metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallas de los equipos. Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma.

El proactivo representa el próximo paso en la evolución hacia un mantenimiento planeado y dentro de este procedimiento el personal de mantenimiento lleva estadísticas específicas sobre los equipos por monitorear para cumplir con los requerimientos necesarios. La táctica proactiva evita elevados costos de inversión en mantenimiento de maquinaria y en la reposición de la misma.

“El Mantenimiento Proactivo es una técnica enfocada a la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, esta técnica implementa soluciones que atacan la causa de los problemas y no los efectos”.

¹² MORA G., Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios – Enfoque Sistemático Kantiano. Pág. 279.

Este tipo de mantenimiento disminuye los costos del mantenimiento y aumenta la productividad de la maquinaria. Sin embargo, en la práctica en muchas empresas no se ha logrado por falta de capacitación del personal. Siempre que se aplique una estrategia de mantenimiento proactivo, son necesarios tres pasos para asegurar que los beneficios se conseguirán.

Como el mantenimiento proactivo, por definición, involucra el control y monitoreo continuo de las causas de falla en la maquinaria, el primer paso es fijar un objetivo o estándar, asociado con cada causa de falla. En el análisis de aceite, las causas de falla de mayor importancia, se relacionan con la contaminación del fluido (partículas, humedad, calor, refrigerante, etc.) y la degradación de aditivos.

Sin embargo, el proceso de definición de objetivos precisos y desafiantes (por ejemplo, un alto nivel de limpieza) es sólo el primer paso. Mantener el control de las condiciones del fluido dentro de estos objetivos debe ser logrado y sostenido.

Este es el segundo paso hacia el mantenimiento proactivo y con frecuencia incluye una auditoria de las causas por las que el fluido se contamina y entonces eliminar sistemáticamente esos puntos de entrada. Frecuentemente se requiere mejorar la filtración y el uso de separadores para alcanzar los objetivos de mantenimiento proactivo.

El tercer paso es la acción vital de crear un círculo de retroalimentación que proporciona un programa de análisis de aceite. Cuando ocurre alguna excepción (por ejemplo, resultados anormales por arriba de los objetivos), se pueden implementar inmediatamente acciones correctivas.

Utilizando el mantenimiento proactivo como estrategia, el control de contaminación se convierte en una actividad disciplinada de monitoreo y de altos niveles de control de limpieza, en lugar de una burda actividad de monitoreo de niveles de tierra¹³.

Cuando los beneficios de extensión de vida del mantenimiento proactivo son acompañados por los beneficios de detección temprana del mantenimiento predictivo, se tiene como resultado un comprensivo programa de mantenimiento basado en condición.

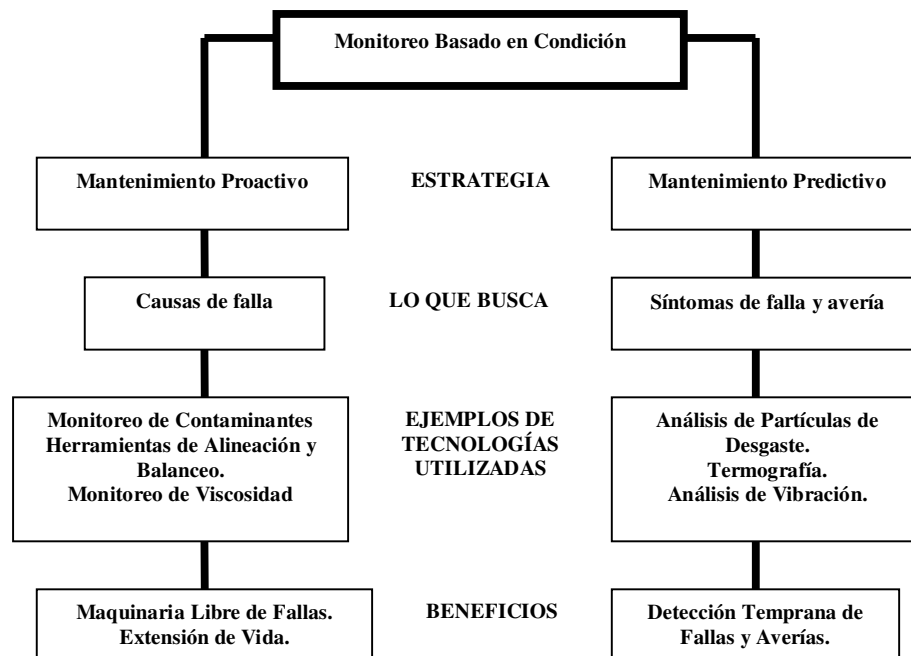
Mientras que el mantenimiento proactivo se dirige al control de las causas de falla, el mantenimiento predictivo se dirige a la detección de fallas incipientes de las propiedades del fluido y de los componentes de la máquina, como rodamientos y engranes.

¹³ TROYER, D. Oil Analysis Basic en Español. Noria Corporation. 2004. Pág. 12.

2.5 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

La permanente revisión y estudio de las variables internas o externas asociadas (directa o indirectamente) al proceso de operación de una máquina, permite diagnosticar el comportamiento futuro en tiempo real de la posible aparición de fallas o situaciones fuera de las condiciones estándares, con el fin de evitarlas a toda costa y alargar los períodos de funcionalidad del equipo y por ende la vida útil total de los componentes. De esto se trata el monitoreo por condición (figura 18).

Figura 18. Diagrama descriptivo del monitoreo basado en condición.



Fuente: Oil Analysis. Noria 2004.

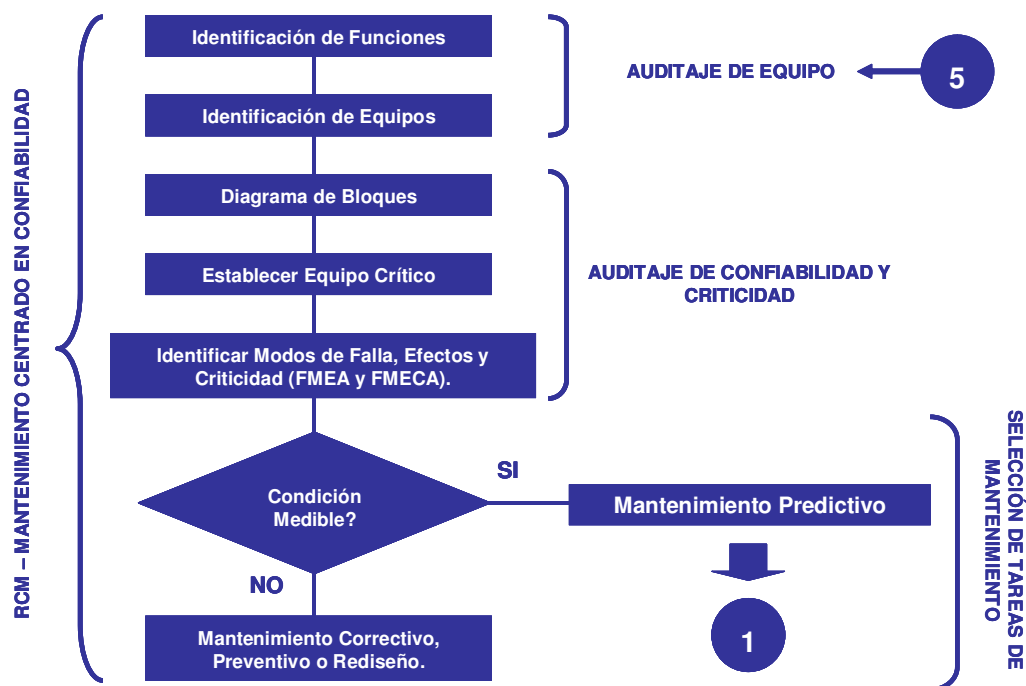
Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y componentes, como modelos matemáticos, técnicas de simulación y determinación de valores límites. La tecnología de monitoreo por condiciones realiza un análisis lógico que relaciona los fallos de los componentes con los fallos del sistema.

Se utilizan modelos de un conjunto de bloques en el que cada bloque representa un componente o combinación de componentes que realiza una función, cada bloque solo tiene posibles estados mutuamente excluyentes (Satisfactorio y Fallado).

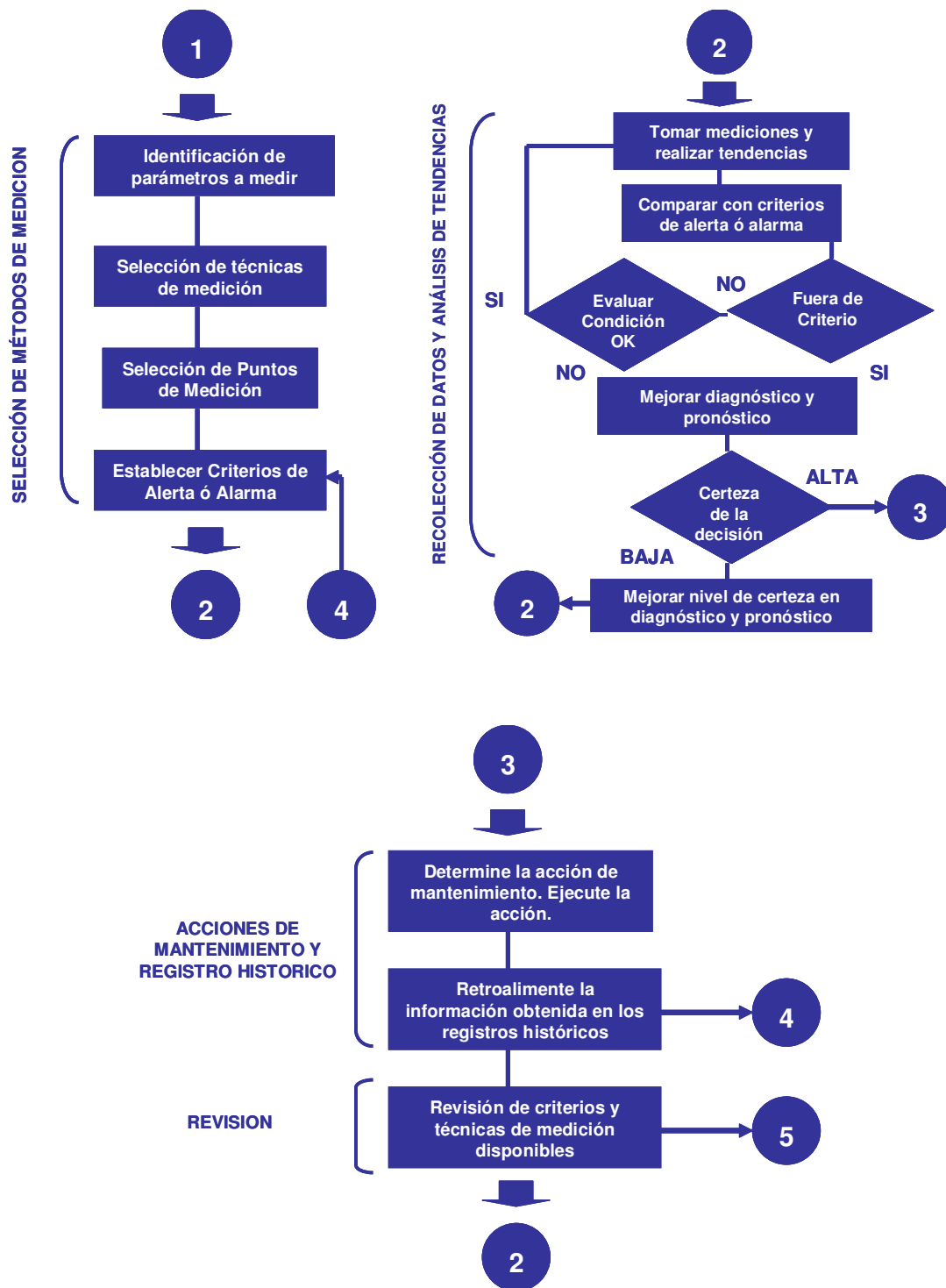
La función representada por cualquier bloque es necesaria para el funcionamiento del sistema. No obstante, el fallo de un bloque no implica fallo del sistema si otro bloque realiza la misma función conteniendo el modelo todas las funciones críticas para el sistema. La tecnología dispone de estrategias para reducir la probabilidad de fallo de un sistema y sus componentes, consiste en dispositivos con más de una serie de elementos que pueden realizar la misma función.

La norma ISO 17359 establece el paso a paso del procedimiento genérico para la implementación del monitoreo por condición de maquinaria (figura 33). Las actividades generadas pueden ser directamente utilizadas para identificar y corregir las causas raíz de los modos de falla de los componentes¹⁴.

Figura 19. Flujograma del monitoreo por condición. ISO 17359.



¹⁴ INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 17359. Condition Monitoring and Diagnostics of Machines. General Guidelines. 2003.



Fuente: ISO 17359 Condition Monitoring and diagnostics of machines.

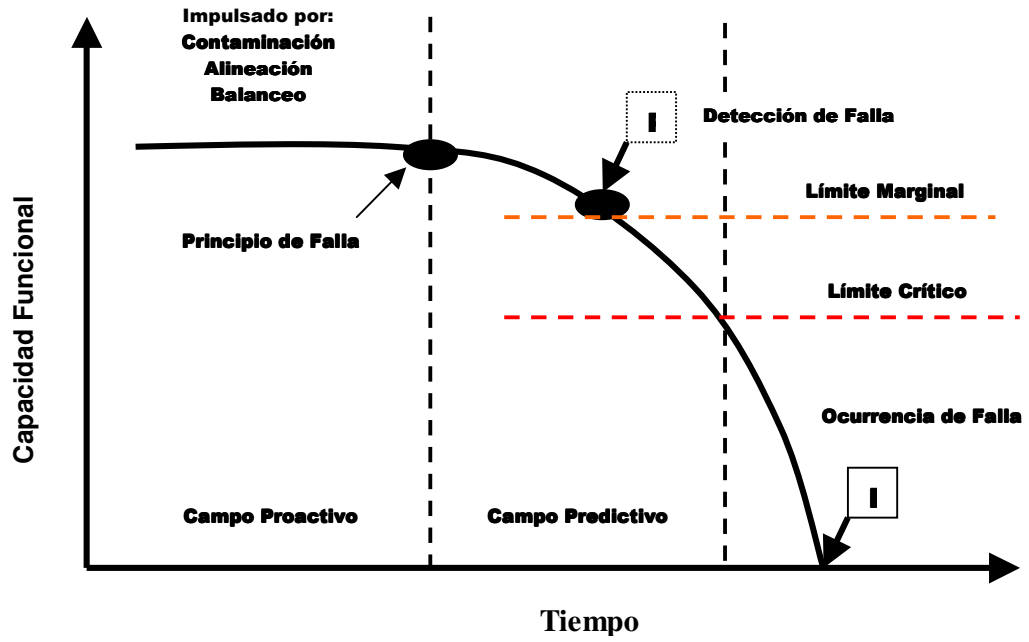
2.6 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD

El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo. La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos. Los datos suministrados por los indicadores de confiabilidad debe darnos la distribución de fallos para una o más combinaciones de esfuerzos y ambientes.

Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, nivel operativo del equipo, número de ciclos conectados - desconectados, número de horas de funcionamiento, naturaleza y distribución del fallo. Otros aspectos a tomar en cuenta en la configuración de los sistemas son el tipo y grado de redundancia, naturaleza y frecuencia de las acciones de mantenimiento, modos de fallos de componentes sobre sistemas. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el TMEF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.

La confiabilidad se mide a partir del número y duración de las fallas, la mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y la duración de las reparaciones; mientras que la disponibilidad se mide a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad (Mora pág 53).

Figura 20. Curva P-F de Confiabilidad.



3. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

El primer paso para la implementación de un programa de monitoreo por condición es definir los equipos críticos a los cuales se deba prestar mayor atención. Como vimos en el contexto operacional, la flota de equipos que intervienen en la operación minera son:

- M100 Palas Hitachi EX1100
- M200 Cargadores CAT 990II
- M300 Camiones CAT 773D
- M400 Tractores CAT D9R
- M500 Motoniveladoras CAT 16H
- M600 Perforadoras DriTech D25KS

El análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar por su importancia los equipos y componentes sobre los cuales vale la pena dirigir recursos humanos, económicos y tecnológicos. El término “crítico” y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se está tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo).
- Efecto en la continuidad operacional y capacidad de producción.
- Efecto en la calidad del producto.
- Efecto en la seguridad, higiene y ambiente.
- Costo de paradas y mantenimiento.
- Frecuencia de fallas y confiabilidad.
- Condiciones de operación (temperatura, presión, velocidad, etc.).
- Flexibilidad y accesibilidad para inspección y mantenimiento.
- Requerimientos y disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos.

Para efecto nuestro, se utiliza el modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo. Este método fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited [Woodhouse Jhon. “Criticality Analysis Revisited”, The Woodhouse Partnership Limited, Newbury, England 1994].

Este es un método semicuantitativo bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo: **frecuencia de fallas x consecuencias**. A pesar de que individualmente ningún equipo minero es crítico en función de la producción, si lo es como conjunto y por esta razón se analiza la flota de camiones debido al número de equipos y la facilidad de réplica para las otras flotas.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, frecuencia 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. Por este método se analiza la criticidad de las diferentes flotas de equipos pesados de la mina.

Este análisis de equipos críticos se realiza con una evaluación básicamente cualitativa a fin de determinar el Índice de Criticidad de cada equipo. En este método se elabora una tabla en la cual se establecen un conjunto de criterios, a los que se les asigna un valor y un coeficiente de ponderación. La mayor prioridad estará determinada por el mayor resultado obtenido de sumar los puntos, multiplicados por el coeficiente de ponderación.

Índice de Criticidad

Índice de Criticidad = $\Sigma P = i$

$\Sigma P = \lambda (C1+C2+C3+C4+C5+C6+...+Cn)$

Grupo A – Prioritarios. $i > 17$

Grupo B – Prioridad Media. $12 < i < 16$

Grupo C – Poca Criticidad. $0 < i < 11$

Coeficientes de Ponderación λ

Equipo auxiliar, proceso adjunto, equipos con duplicado. $\lambda = 1$

Equipos de importancia media, de apoyo a la producción, única existencia. $\lambda = 2$

Equipos de importancia vital para el proceso, única existencia, sin reemplazo. $\lambda = 3$

Criterios de Análisis C

- C1 Complejidad Tecnológica.
- C2 Importancia del equipo en el proceso.
- C3 Funcionamiento (Tasa de Marcha).
- C4 Costos directos de mantenimiento.
- C5 Valor de reposición por uno idéntico.
- C6 Costos Indirectos (Pérdida de Producción).

Tabla 1. Matriz de evaluación para criterios de análisis.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	VALOR
SIMPLE	SECUNDARIA	ESPORÁDICA	BAJOS	POCO COSTOSO	BAJOS	0
COMPLEJO	PRINCIPAL	INTERMITENTE	MEDIOS	COSTOSO	MEDIOS	1
MUY COMPLEJO	VITAL	CONTINUA	ELEVADOS	MUY COSTOSO	ELEVADOS	2

Tabla 2. Resumen datos de criticidad equipos mineros.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	λ	C1	C2	C3	C4	C5	C6	$\Sigma_p = i$	CRITICIDAD
PERFORADORAS DRILLTECH CKS25	1	1	1	1	1	1	1	6	C
CARROEXPLOSIVO GMC	1	1	1	1	0	1	0	4	C
PALAS MECANICAS HITACHI EX1100	1	1	1	2	1	1	1	7	C
CARGADOR CAT 988	1	1	0	1	1	1	1	5	C
CARGADORES CAT 990	1	1	2	2	1	1	1	8	C
CAMINONES CAT 773	1	1	1	2	1	1	1	7	C
MOTONIVELADORAS CAT 16H - 16G	1	1	1	1	1	1	1	6	C
TRACTORES CAT D9R	1	1	1	2	2	1	2	9	C
CARROSERVICIO CAT 769	2	1	2	2	1	1	2	18	A
CARROSERVICIO FORD 9000	1	0	1	1	0	1	1	4	C
CARRORIEGO CAT 769 - 773	1	0	2	2	1	1	2	8	C
RETROEXCAVADORA HITACHI EX300	2	1	2	1	1	1	0	12	B
CARROTALLER KENWORTH T600	2	0	2	1	1	0	0	8	C
TRITURADORA DE PIEDRA	1	1	0	1	0	1	0	3	C
EQUIPO DESARMADOR-ARMADOR DE LLANTAS	2	1	1	1	0	0	1	8	C
MONTACARGALLANTAS CLAMP CAT	2	1	1	1	0	0	1	8	C

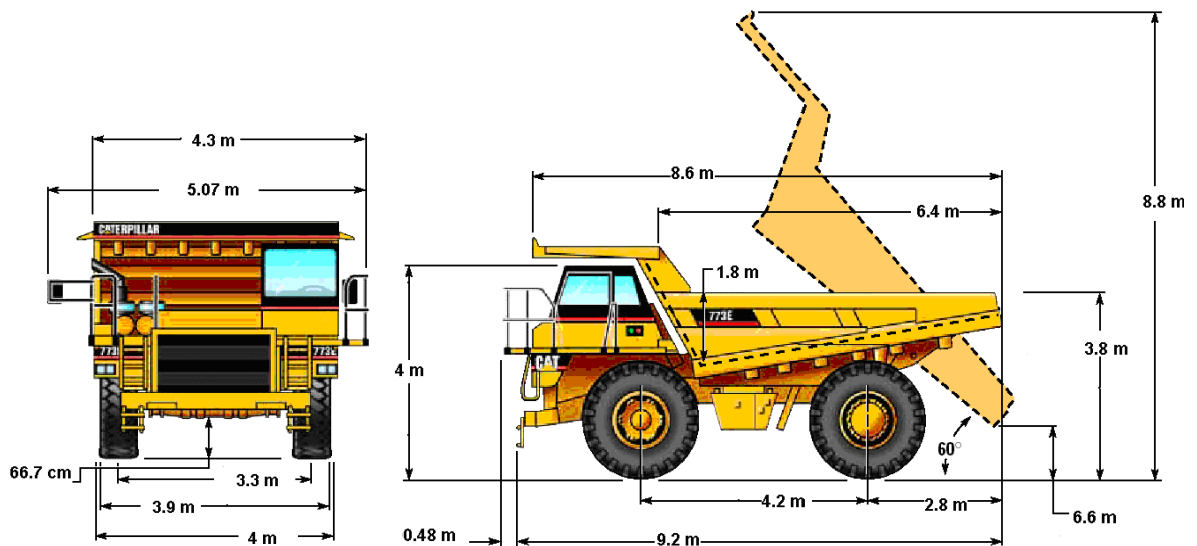
Aunque el estudio de criticidad mostró que los equipos críticos de la operación minera en Cerromatoso son el carroservicio CAT 769 y la retroexcavadora EX300, la muestra seleccionada de la población de equipos mineros para la propuesta del sistema de gestión son los camiones CAT 773, por su gran impacto en el presupuesto de la unidad de mina.

4. ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL CAMIÓN CAT 773 Y FALLAS FRECUENTES DEL TREN DE POTENCIA.

4.1 ESPECIFICACIONES.

Es un equipo de acarreo elaborado especialmente para trabajo pesado. Los camiones Caterpillar 773 son equipados y acondicionados para realizar acarreo de material en Minas y Canteras, por tal razón se les conoce como camiones fuera del camino. Este camión tiene una capacidad de 55 toneladas, posee un motor Diesel Caterpillar 3412E postenfriado, desarrolla una potencia de 650 caballos de fuerza a 2200 RPM. Las dimensiones del camión las podemos apreciar en la figura 21. El peso en vacío es de 45 toneladas, transmisión de siete velocidades hacia delante y una de reversa, la capacidad del tanque de combustible es de 185 galones, el consumo promedio de combustible es de aproximadamente 15 galones/hora y usa llantas 2400 x 35.

Figura 21. Dimensiones del Camión CAT 773.



Fuente: www.cat.com/productos

4.2 PROCESO DEL CAMIÓN CAT 773.

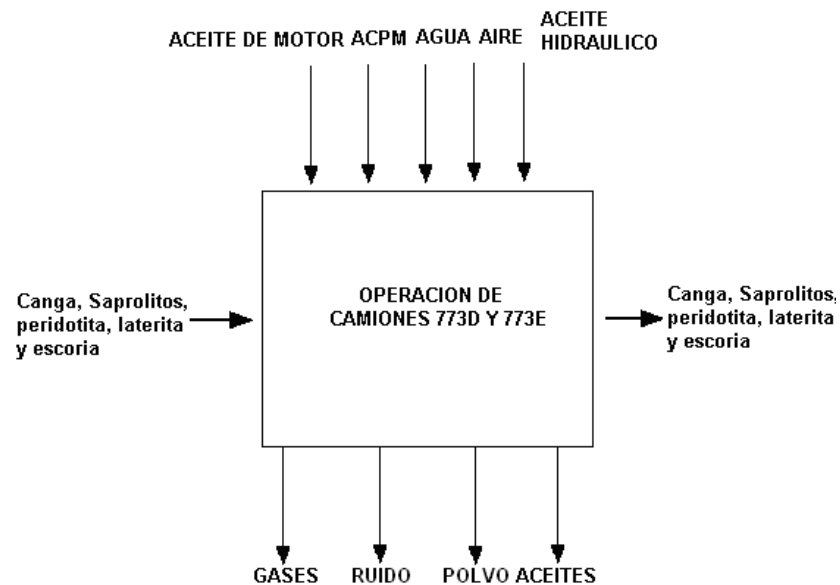
En Cerromatoso existen dos modelos de camiones Caterpillar, los 773D y 773E, su funcionamiento y operación son similares aunque tienen algunas diferencias en el tablero de instrumentos de control. Es un equipo utilizado para el acarreo de materiales en el área de la mina y en la unidad de negocios RKEF. Básicamente el camión hace lo siguiente:

Recibe como alimentación combustible (ACPM), y los siguientes insumos:

- Aceite de motor
- Aceite hidráulico
- Aire
- Refrigerante
- Accesorios y componentes del equipo

El camión Caterpillar 773D y 773E recibe de entrada materiales como canga, saprolitos, peridotita, sedimentos, laterita y escoria. A la salida de la operación del camión tenemos desechos como gases producto de la combustión, aceites usados, ruido y polvo. El producto de la operación con los camiones 773D y 773E, es el transporte de materiales a los sitios de botaderos o a las pilas de mineral ubicadas en el área 100, según se lo indique el operador del equipo de carga (figura 22).

Figura 22. Diagrama de proceso del camión CAT 773.



Fuente: Manual del Camión CAT 773 – Cerromatoso.

4.3 SISTEMAS BÁSICOS DEL TREN DE POTENCIA.

Los sistemas básicos que posee el camión en el tren de potencia y hacen posible su operación, consiste de los siguientes conjuntos funcionales:

- Sistema motriz.
- Sistema de tren de potencia.

Sistema Motriz. Es un Motor Caterpillar 3412E que consta de diferentes conjuntos funcionales los cuales por la actividad que realizan se dividen en subsistemas, cada uno de ellos cumplen funciones específicas (figura 23). Los subsistemas que forman parte del sistema motriz son los siguientes:

- Subsistema de combustible.
- Subsistema de lubricación.
- Subsistema de enfriamiento.
- Subsistema de admisión y escape.
- Subsistema de potencia.

Figura 23. Sistema motriz del motor CAT 3412E.



Fuente: www.siscat.com/sistemas773

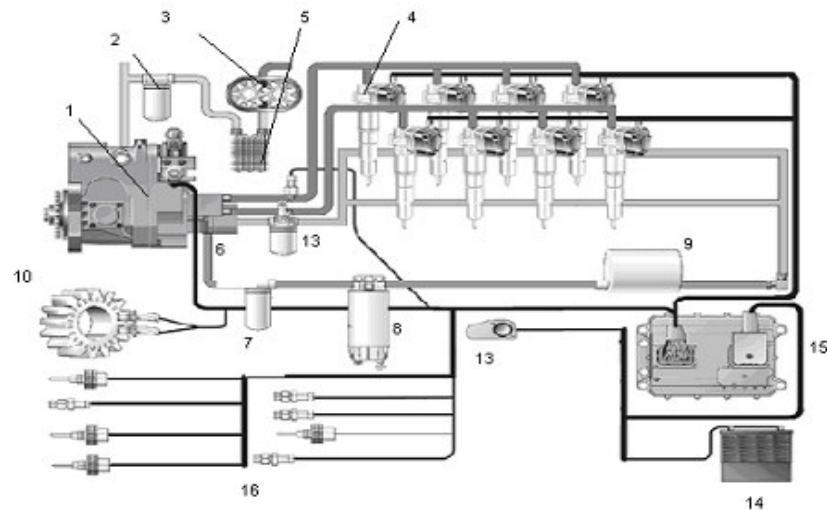
Subsistema de combustible. Es un conjunto de elementos que cumplen la función de suministrar combustible al subsistema de potencia (figura 24). Consiste de las siguientes partes:

- Tanque de combustible.
- Filtros de combustible.
- Bomba de transferencia.
- Bomba de cebado.
- Inyectores.
- Bomba de actuación.
- Modulo de control electrónico.
- Sensores.

Subsistema de lubricación. Es un conjunto de elementos del motor que cumple la función de mandar aceite desde el cárter a todas las partes móviles del motor expuestas a fricción (figura 25). Consiste de:

- Cárter o depósito de aceite.
- Bomba de aceite.
- Filtro el aceite.
- Válvula de derivación del enfriador de aceite.
- Enfriador de aceite.
- Válvula de derivación del filtro de aceite.
- Tuberías de entrada y retorno al turbo alimentador.
- Sensores.

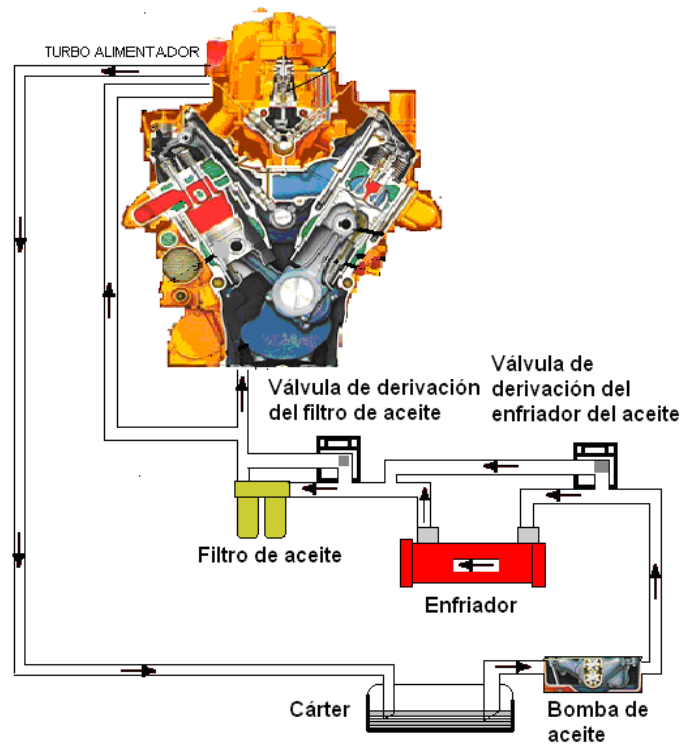
Figura 24. Subsistema de combustible del motor CAT 3412E.



- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Bomba de Actuación | 15 Módulo de control Electrónico |
| 2 Filtro de Aceite del motor | 16 Sensores de: |
| 3. Bomba de aceite | Temperatura de Aceite |
| 4 Inyectores | Temperatura del Refrigerante |
| 5 Enfriador de Aceite | Nivel del Refrigerante |
| 6 Bomba de Transferencia | Presión de Aceite |
| 7 Filtro Secundario de Combustible | Presión de Combustible |
| 8 Filtro Primario de Combustible | Temperatura de Combustible |
| 9 Tanque de Combustible | Presión Atmosférica |
| 10 Sensor de Velocidad de las llantas | |
| 11 Separador de Agua | |
| 12 Bomba de cebado | |
| 13 Sensor de posición del acelerador | |
| 14 Batería | |

Fuente: www.siscat.com/sistemas773

Figura 25. Subsistema de lubricación del motor CAT 3412E.

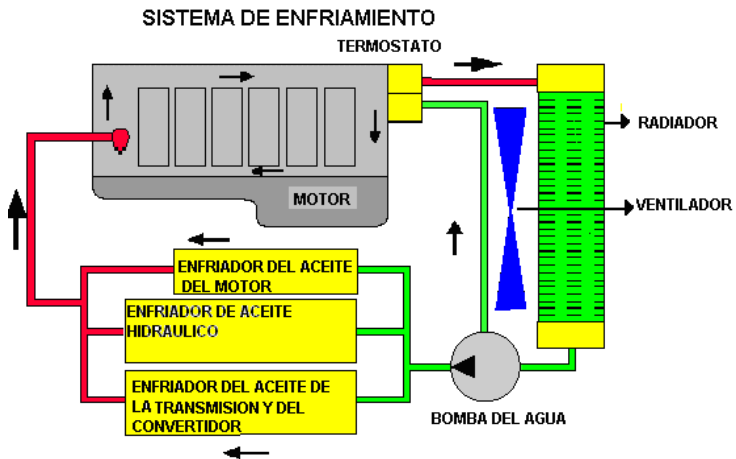


Fuente: Manual del Camión CAT 773 – Cerromatoso.

Subsistema de Enfriamiento. Es un conjunto de elementos que cumple la función de mantener la temperatura del motor en condiciones normales de operación (figura 26). Consiste de:

- Radiador.
- Ventilador.
- Correas.
- Mangueras.
- Bomba de agua.
- Conductos.
- Termostatos.
- Indicadores de temperatura y flujo.
- Enfriadores de aceites.

Figura 26. Subsistema de enfriamiento del motor CAT 3412E.

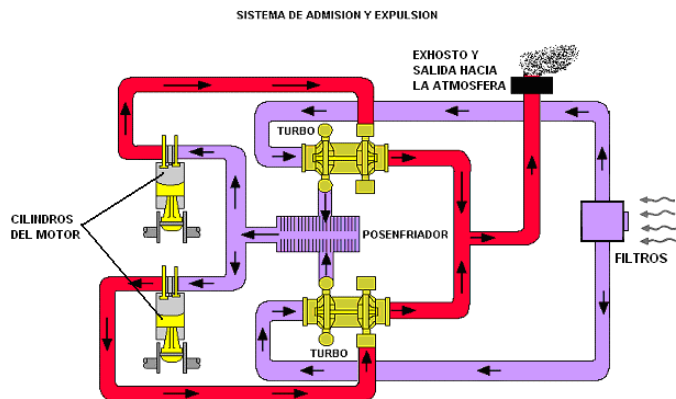


Fuente: www.siscat.com/sistemas773

Subsistema de admisión y escape. Es un conjunto de elementos que cumple la función de suministrar el aire necesario para funcionamiento del motor (figura 27). Consiste de las siguientes partes:

- Filtros de aire
- Indicador de obstrucción del filtro
- Turbo
- Postenfriador
- Múltiples de admisión y escape
- Exhosto

Figura 27. Subsistema de admisión y escape del camión motor CAT 3412E.

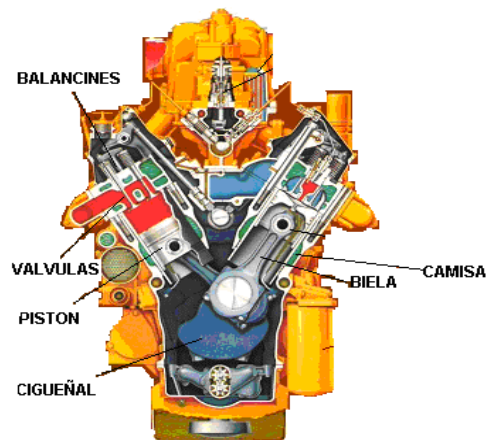


Fuente: www.siscat.com/sistemas773

Subsistema de potencia. Es un conjunto de elementos que cumple la función de convertir la potencia de la explosión en potencia mecánica rotativa en los ejes de salida (figura 28). Consiste de:

- Bloque.
- Pistones.
- Cigüeñal.
- Biela.
- Camisa.
- Válvulas.
- Balancines.
- Casquetes.

Figura 28. Subsistema de potencia del motor CAT 3412E.

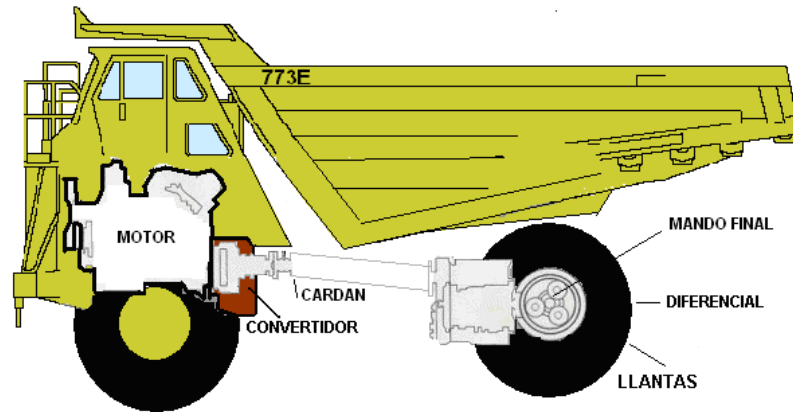


Fuente: Manual del Camión CAT 773 – Cerromatoso.

Sistema de tren de potencia. Es un conjunto de elementos que cumple la función de transmitir la potencia que recibe del motor, hasta las llantas donde se producen el movimiento de traslación (figura 29). Consta de las siguientes partes:

- Convertidor
- Cardan
- Servo transmisión
- Diferencial
- Mandos finales
- Llantas
- Suspensión
- Filtros
- Indicador de restricción de filtros de aceite

Figura 29. Sistema de Tren de Potencia del camión CAT 773.



Fuente: Manual del Camión CAT 773 – Cerromatoso.

4.4 FUNCIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA DEL CAMIÓN CAT 773.

- **Sistema Motriz.** El sistema motriz recibe energía del combustible, el cual al realizar la combustión proporciona potencia mecánica a través de los movimientos de cada uno de los componentes internos del motor.

Los subsistemas de combustible, lubricación, enfriamiento, admisión y escape realizan una función específica para permitir el funcionamiento del motor en forma precisa.

Al encender el motor llega el aire y el combustible requerido para la combustión, igual llega el aceite para la lubricación y el agua para el enfriamiento. Con estos elementos, los pistones, el cigüeñal y demás partes del motor realizan los movimientos que generan la potencia del sistema motriz.

Subsistema de combustible. El combustible es succionado del tanque a través de la bomba de transferencia pasando por los filtros primarios y secundarios hasta llegar a los inyectores, el combustible es finalmente impulsado hacia la recámara de los cilindros a una alta presión debido a la acción hidráulica ejercida por la bomba de actuación encima de los inyectores. El combustible que no es utilizado en la combustión se utiliza para la refrigeración de los inyectores y finalmente retornado a tanque.

Subsistema de Lubricación. Al encender el motor el aceite es tomado por la bomba de lubricación desde el depósito o cárter, e impulsado a través de un enfriador, válvulas y filtros hacia cada uno de los puntos de lubricación en forma permanente mientras el motor se encuentra en funcionamiento. Al encender el motor el operador debe estar seguro que existe aceite en el cárter, además debe mantener las mínimas revoluciones por minuto del motor en los primeros instantes de encendido.

Subsistema de Enfriamiento. La bomba succiona agua del radiador impulsándola por los enfriadores y ductos realizando el enfriamiento que necesita el motor. Cuando la temperatura es superior a 82 grados centígrados, se abre el termostato dando el paso al agua hasta el tanque superior del radiador, luego al pasar al tanque inferior se le baja la temperatura por acción de una corriente de aire proveniente del ventilador; este aire realiza una transferencia de calor desde el panel del radiador a la atmósfera consiguiendo que el agua reduzca su temperatura y vuelva a circular nuevamente.

Subsistema de admisión y Escape. El aire pasa a través de los filtros, de aquí el aire es succionado por el turbo-alimentador el cual lo envía hacia el postenfriador y múltiple de admisión para finalmente alojarlo al interior de los cilindros, dando como resultado la combustión. Los gases resultantes de la combustión salen impulsados por el pistón hacia el múltiple de escape donde es enviado hacia la atmósfera pasando por el turbo, haciendo que éste realice con más eficacia la adsorción del aire.

Subsistema de Potencia. Cuando el motor es iniciado por las baterías, comienzan los movimientos en el volante, haciendo girar el cigüeñal, que a su vez, hace que los pistones muevan los cilindros. Cuando el pistón baja, el árbol de levas hace que se abran las válvulas de admisión y entre aire atmosférico para la combustión. Al subir el pistón, las válvulas de admisión se cierran para empezar la compresión del aire. Al final de la carrera de compresión, se produce la inyección de combustible generándose la explosión en el motor, dando origen a la potencia y carrera de descenso del pistón; luego se abren las válvulas de escape y el pistón empieza su carrera ascendente expulsando los gases de la combustión dando inicio a un nuevo ciclo de 4 tiempos: admisión, compresión, fuerza y escape.

- **Sistema de tren de Potencia.** Recibe potencia mecánica del motor. Ésta potencia es transferida por el convertidor a la transmisión, el cual por intermedio del cardán pasa la potencia seleccionada al diferencial y mandos finales. De acuerdo a la potencia del motor se pueden lograr controles en la transmisión que permitan una traslación perfecta en cualquier dirección o terreno (figura 30).

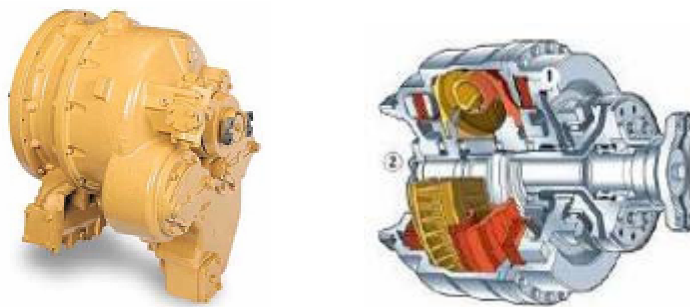
Figura 30. Tren de potencia del camión CAT 773.



Fuente: www.cat.com

Convertidor. El convertidor es un tipo de turbina que gira el aceite a alta velocidad contra sus aletas, haciendo girar el eje de la transmisión con un aumento de torque. El aceite no puede ser muy viscoso y no puede tener aditivos (azufre/fósforo) que cambien las superficies; esto elimina el uso de aceites de transmisión GL-5.

Figura 31. Convertidor de par del camión CAT 773.



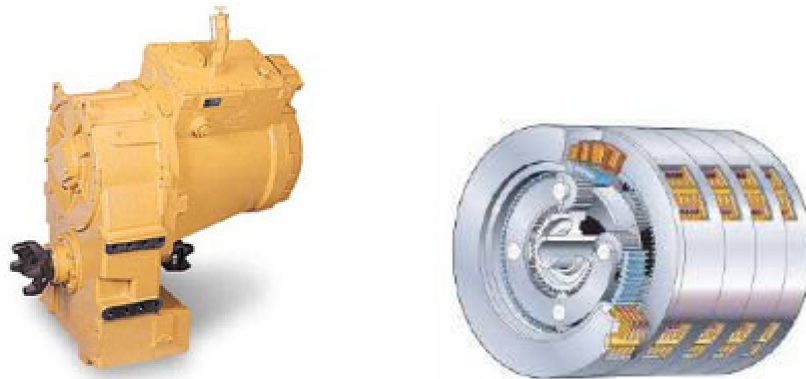
Fuente: www.cat.com/productos

Transmisión. La fuerza que produce el motor de combustión interna puede ser medida de dos maneras: La potencia pura y el torque (a veces descrita como fuerza de giro). Esta relación es frecuentemente referida como el régimen del giro, lo cual varía entre motores y sus diseños. Al acelerar el motor, el torque llega a su máximo antes de que la potencia llegue a su máximo.

En términos simples, el propósito de la transmisión es permitir que se mantenga el motor funcionando en el rango “estable” entre el pico de torque y el pico de potencia. Con la presencia de una transmisión se puede mantener el motor en este rango de estabilidad cambiando la relación de giro del motor y las ruedas, aumentando la velocidad del motor al punto que tenga mayor potencia para mantener la velocidad.

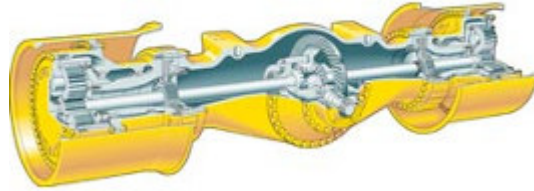
Las transmisiones están diseñadas para el régimen del motor, el diferencial y el uso esperado del camión. Cuando se parte en primera, normalmente el motor gira unas cuatro veces más que el eje de las ruedas. Cuando llega al último cambio, esta relación es 1:1 y cuando entra en “sobre marcha” las ruedas giran más rápidas que el motor.

Figura 32. Transmisión del camión CAT 773.



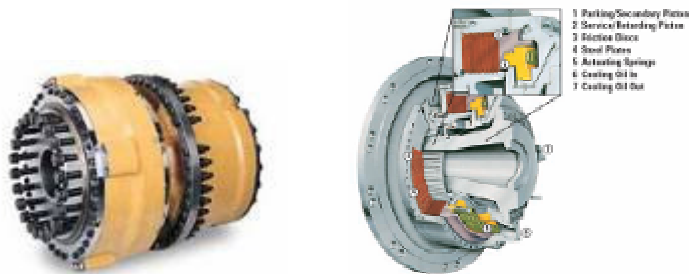
Fuente: www.cat.com/productos

Figura 33. Diferencial del camión CAT 773.



Fuente: www.cat.com/productos

Figura 34. Mando final del camión CAT 773.



Fuente: www.cat.com/productos

4.5 FALLAS FRECUENTES DEL TREN DE POTENCIA.

En estos componentes históricamente se han presentado varios tipos de fallas que se pueden agrupar básicamente en cuatro categorías:

- Fallas originadas por mala operación:
- Fallas originadas por una mala reparación e instalación
- Fallas originadas por malas prácticas de mantenimiento
- Fallas originadas por el desgaste interno(horas de operación)

4.6 FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL TREN DE POTENCIA.

4.6.1 Fallas del Motor. Este componente se monitorea por condición con análisis de aceite e información que suministra el módulo electrónico, en promedio opera 18.000 horas para su primera reparación. Sus modos de falla comunes son:

- Desgaste interno acelerado por análisis de partículas
- Baja presión de lubricación
- Alta temperatura del motor
- Componente agrietado
- Rotura del componente
- Excesivo consumo de combustible
- Fugas internas y externas de aceite

4.6.2 Fallas del Convertidor. A este componente se le hace actualmente pruebas hidráulicas y análisis de aceite, es un componente con buena confiabilidad, en promedio 20.000 horas de trabajo para su primera reparación. Se recomienda entrenar a más técnicos en la evaluación de convertidores. Las fallas comunes son:

- Baja presión de aceite
- Deslizamiento interno
- Alta temperatura
- Fugas internas y externas de aceite
- Desgaste interno

4.6.3 Fallas de la Transmisión. Se cambia por condición soportado por el análisis de aceite y por las horas de trabajo, en promedio están durando 17.000 horas. Se recomienda hacer las evaluaciones hidráulicas de la transmisión, bajar y analizar los eventos del ECM de la transmisión, siguiendo una frecuencia de monitoreo de 1500 horas.

Igualmente se recomienda hacer termografías, y se debe crear una línea base y así establecer un patrón de referencia a los 5000, 10000, 15000, 20000 horas, esto debido a que no se tiene una referencia de comportamiento para estos componentes. Las fallas comunes son:

- Bloqueo hidráulico
- Desgaste interno
- Señal de sobrerrevolución
- Fugas internas y externas
- Alta temperatura
- Baja presión de aceite
- Rotura del elemento
- Contaminación del aceite
- Desajuste del tope

Las transmisiones de equipo pesado son diseñadas para proveer más de 18,000 horas de servicio sin reparaciones, con cambios de aceite y monitoreo de contaminantes de acuerdo al plan de mantenimiento.

4.6.4 Fallas del Diferencial. A este componente se le realiza análisis de aceite, se recomienda retomar la práctica calibración del tope y lubrifiltrado para eliminar partículas en el compartimento.

- Bloqueo hidráulico
- Desgaste interno
- Sobrerrevolución
- Fugas internas y externas
- Alta temperatura
- Bloqueo mecánico
- Desajuste en el tope

4.6.5. Fallas de los Mandos Finales. Se le realiza análisis de aceite, se recomienda hacer termografías cada 2000 horas y lubrifiltrado para eliminar partículas en el compartimento. Se debe establecer una línea base y un patrón de comportamiento. Las fallas comunes son:

- Bloqueo hidráulico
- Desgaste interno
- Sobrerevolución
- Fugas internas y externas
- Alta temperatura
- Bloqueo mecánico

4.6.6 Fallas de los Cardanes. Estos componentes actualmente se les cambia las crucetas y la tornillería por horas, se recomienda implementar la evaluación de balanceo al cardan cada 5.000 horas (figura 29).

4.6.7 Fallas de las Llantas. Se cambian por condición, se le realiza monitoreo de presiones y desgaste cada cuatro días. Tienen una duración de 6.000 horas en promedio. Se recomienda tomar las siguientes acciones para extender la vida útil de estos componentes:

- Continuar con el proyecto de cuidado de las llantas por parte de la operación (TRAP)
- En el área de mantenimiento continuar el programa de control de llantas, optimizando el uso del formato de cambio y sensibilizando a los técnicos.
- Implementar el plan de mantenimiento de rines, identificación y evaluación de estos componentes.
- Inspección de rines, bridas cada 2.000 horas.

4.7 DETECCIÓN DE FALLAS EN EL TREN DE POTENCIA.

Todos los componentes del tren de fuerza entregan indicadores, algunos son buenos otros malos. La pregunta importante es si el programa de mantenimiento puede detectar estos indicadores antes de que una avería catastrófica pueda dejar el equipo fuera de servicio y enviarlo al taller.

4.7.1 Indicadores de falla de motores. Se clasifican en dos grupos: problemas y programados.

Indicadores de problemas. Como lo sugiere el nombre, en el momento en que ocurren estos indicadores, es posible que ya exista un problema. La clave es realizar el diagnóstico de la situación antes de que empeore.

Tabla 3. Indicadores de problemas en motores antes de la falla.

INDICADOR	CAUSA POSIBLE
Exceso de humo negro a carga plena (combustible caliente sin quemar)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtro de aire primario/secundario sucio ▪ Operación en marcha demasiado alta ▪ Exceso de combustible ▪ Sobrecarga ▪ Turbo compresión defectuosa
Humo azul (consumo de aceite)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horas de motor ▪ Anillos/camisas desgastadas ▪ Sellos de turbocompresor desgastados ▪ Productos de válvula desgastados
Humo blanco (vapor: agua en cámara de combustión) (ó arranque: combustible sin quemar)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Junta de la culata con fugas ▪ Cabeza y/o camisas agrietadas ▪ Inyector unitario defectuoso ▪ Procedimiento de arranque incorrecto ▪ Sincronización incorrecta de la inyección de combustible ▪ Combustible de baja calidad
Aumento de consumo de aceite / exceso de escape de gases del cilindro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horas de motor ▪ Anillos / camisas desgastados o rotos ▪ Sellos de turbocompresor desgastados ▪ Guías de válvula desgastados
Ruidos no acostumbrados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tobera/inyectores de combustible funcionan incorrectamente ▪ Bujes del pasador de biela desgastados ▪ Cojinetes de biela/bancada desgastados ▪ Turbocompresor que funciona incorrectamente ▪ Demasiado juego de las válvulas
Falta de potencia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtro de aire sucio ▪ Filtro de combustible sucio ▪ Ajuste incorrecto del varillaje del regulador ▪ Toberas/inyectores funcionan incorrectamente ▪ Patinaje del convertidor de par ▪ Punto de control incorrecto ▪ Combustible de baja calidad

Tabla 3. Indicadores de problemas en motores antes de la falla.

INDICADOR	CAUSA POSIBLE
Mayor consumo de combustible	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuga de combustible ▪ Filtro de aire sucio ▪ Funcionamiento defectuoso del turbocompresor ▪ Funcionamiento defectuoso de toberas/inyectores ▪ Punto de control incorrecto ▪ Operación incorrecta de máquina
Recalentamiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Núcleo de radiador taponado ▪ Ajuste incorrecto o correas/poleas desgastadas ▪ Bajo nivel de refrigerante ▪ Funcionamiento defectuoso de termostatos ▪ Filtro de aire sucio ▪ Técnica incorrecta de operación ▪ Patinaje del convertidor de par
Arranque difícil (falla de encendido del motor)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bomba de inyector de combustible desgastada ▪ Técnica incorrecta de arranque ▪ Combustible de baja calidad – baja clasificación de octano o agua en el combustible ▪ Funcionamiento defectuoso de toberas/inyectores de combustible ▪ Baja velocidad de giro del motor de arranque
Nivel de aceite sobre lleno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuga de refrigerante/combustible al carter ▪ Llenado de aceite incorrecto
Escombros en el filtro de aceite	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Admisión sucia ▪ Cojinetes dañados ▪ Fuga de refrigerante/combustible al cárter ▪ Intervalos prolongados de cambio de aceite ▪ Aceite incorrecto utilizado

Indicadores programados. Están generalmente asociados con un programa de administración de mantenimiento proactivo antes de la avería.

- **Resultados de los análisis de aceite.** El análisis programado de aceite es probablemente el mejor indicador de desgaste interno de los componentes y de una falla potencial.
- **Horas de servicio del componente.** Las horas del medidor para servicio del componente son un buen indicador de cuándo se necesitan ciertas reparaciones.
- **Resultados del análisis de refrigerante.** El análisis de refrigerante asegura que el refrigerante está protegiendo el motor contra la erosión y la corrosión, además de proveer protección de congelación y ebullición.

- **Guía de administración de reacondicionamiento general.** OMG es un servicio de análisis por computador que provee una forma rápida y fácil para calcular la vida útil restante estimada de los motores, transmisiones y otros componentes, y determina el mejor momento para realizar un reacondicionamiento antes de la avería. Puede reducir los costos de posesión y operación en forma significativa.
- **Juego de indicador de reparación del motor (ERIK).** Es un juego de herramientas de diagnóstico que se utilizan para evaluar la condición del motor. ERIK incluye etiquetas de registro de temperatura, juego de prueba de acondicionador de refrigerante, cortador de filtro y medidor de presión del carter.
- **Historial de servicio.**
- **Litros de combustible consumidos.**

4.7.2 Contaminación del aceite

La contaminación es el enemigo más importante de los sistemas hidráulicos y mecánicos lubricados. Se introduce desde la atmósfera o se genera en el interior, privando al lubricante y componentes de su preciosa vida. La contaminación, por definición, es cualquier cosa que está en el aceite y que no debería estar ahí.

Contaminación por partículas. Las partículas abrasivas son responsables de la mayoría del desgaste que provoca fallas mecánicas. La cantidad de daño infringida por las partículas depende en gran manera de su tamaño, forma, dureza y composición química.

Las partículas abrasivas deben ser controladas en cualquier sistema que se considere crítico en operación o costoso de reparar. Muchas partículas se introducen al aceite en aquellos puntos en los cuales la máquina interactúa con el medio ambiente, mientras que algunas otras son generadas internamente, como por ejemplo:

- Ventiladores y respiradores
- Sellos de ejes y sellos limpiadores
- Aceite nuevo
- Filtros

Las partículas, especialmente partículas de metales catalíticos como el cobre, hierro y plomo incrementan la tasa a la cual ocurre la oxidación. Las partículas también despojan al aceite de sus aditivos polares, incluyendo a los aditivos antidesgaste, aditivos extrema presión, inhibidores de corrosión y dispersantes.

De igual manera, muchas partículas en suspensión estable pueden causar incremento en la viscosidad del aceite. Las partículas abrasivas son las responsables de la mayoría del desgaste que conduce a la falla mecánica de los componentes. Bajo condiciones de deslizamiento, las partículas de tamaño de los espacios dinámicos de la maquinaria entran en la película de aceite que hay entre las superficies y cortan material tal y como un torno corta el metal.

Bajo condiciones de contacto rodante, las partículas transfieren de manera concentrada la carga, entre las dos superficies en movimiento relativo, dando como resultado fatiga de superficie, picado (pitting) y lascas (spalling). El aceite contaminado por partículas que viaja a altas velocidades también puede causar desgaste erosivo.

Contaminación por humedad. Con frecuencia llamado el principal enemigo de sistemas hidráulicos y máquinas lubricadas, la contaminación por agua es el segundo contaminante más destructivo. El agua coexiste en el aceite en los siguientes estados: disuelta, emulsionada y libre. Como las partículas, el agua entra por aquellos lugares en los que la máquina interactúa con el medio ambiente, por ejemplo:

- Atmósfera
- Condensación
- Fuga de refrigerante

El agua reacciona con algunos aditivos para formar precipitantes y algunos sub-productos químicamente agresivos. El agua también actúa como un catalizador que promueve la oxidación, especialmente en presencia de metales reactivos como hierro, cobre y plomo.

En los lugares en los que se acumula agua libre en el tanque, los microorganismos pueden crecer. Los microbios se alimentan del aceite, lo descomponen para formar ácidos que promueven la oxidación y causan la obstrucción del filtro.

El agua que está en forma libre o emulsionada interfiere con la lubricación disminuyendo la resistencia de la película lubricante. La película debilitada por agua vuelve a la máquina más susceptible al desgaste por abrasión, adhesión y fatiga. También, el agua corroe las superficies de hierro y acero e incrementa el potencial corrosivo de los ácidos que atacan los metales de los rodamientos.

Contaminación por combustible. La contaminación por combustible ocurre principalmente en aplicaciones de motores automotrices. La mayoría de los aceites de motor acumulan cierta dilución de combustible durante la operación. El cambio de aceite demasiado extendido, operación inadecuada o un mal funcionamiento del motor pueden llevar a una poca saludable acumulación de combustible en el lubricante.

El combustible se introduce al cárter en forma de residuos de combustión junto con los gases y por fugas. La fuga de gases (también conocida como "Blow-by"), sucede debido a combustión incompleta o ineficiente ocasionada por una o más de las siguientes causas:

- Excesiva marcha en vacío
- Conducir en punto muerto (neutro)
- Patrones de inyección defectuosos en aspersión o goteo
- Relación aire/combustible inadecuada

La dilución por combustible reduce substancialmente el desempeño del lubricante de las siguientes maneras:

- Oxidación prematura
- Pérdida de viscosidad
- Dilución de aditivos
- Acumulación de azufre

La dilución por combustible perjudica a la máquina de las siguientes maneras:

- Incremento del desgaste
- Incremento de corrosión
- Riesgo de fuego y explosión

Contaminación por hollín. El hollín es un sub-producto de la combustión. Los cambios de aceite muy extendidos o la mala combustión provocan acumulación anormal de hollín, la cual tiene efectos dañinos en el lubricante y la máquina. Los nuevos requerimientos EPA para controlar el hollín en la atmósfera y las emisiones de óxido nitroso (NOx) usando recirculación de gases de escape (EGR) llevarán a un aumento en la carga de hollín en los aceites de motor en los años venideros. El hollín se introduce al lubricante por la fuga de gases de combustión y es ocasionada por:

- Baja compresión del motor
- Alta relación combustible/aire
- Aire muy frío
- Sobrecarga
- Excesiva marcha en vacío.

El hollín tiene los siguientes efectos en el aceite:

- Pérdida de dispersancia
- Pérdida de desempeño anti-desgaste
- Incremento de viscosidad

El hollín perjudica a la máquina de las siguientes maneras:

- Obstruye filtros
- Aumenta el desgaste abrasivo
- Forma depósitos, lodo y bloquea venas de lubricación

Contaminación por Glicol. El glicol con frecuencia contamina los lubricantes de motor y otros sistemas que utilizan mezclas de glicol y agua para enfriamiento. Siempre presente y fluyendo, el glicol es una amenaza constante de fuga hacia el lubricante, especialmente en aplicaciones de motores.

Generalmente, el glicol se introduce al motor por las siguientes razones:

- Sellos defectuosos
- Cavitación y erosión (mecánica y electrocinética)
- Corrosión
- Daño en el núcleo del enfriador

El glicol tiene los siguientes efectos en el aceite:

- Formación de gel y emulsiones
- Aumento de la viscosidad
- Aumento de la oxidación
- Formación de ácidos
- Formación de “bolsas de aceite”.

El glicol tiene los siguientes efectos en la máquina:

- Incremento de desgaste
- Incremento de corrosión
- Falla del filtro.

4.7.3 Vibraciones. En aplicaciones en las que el desgaste deslizante es prevalente, uno puede detectar incremento en la generación de desgaste y una disminución de los niveles de vibración, esto es causado por lo que llamamos un efecto de “lapeado”.

En esencia, el desgaste deslizante pule suavemente la superficie, reduciendo las vibraciones en general hasta el punto en el cuál hay demasiado espacio y se induce la vibración mecánica. El efecto es intensificado por la presencia de tierra abrasiva.

El análisis de vibración identifica muy eficientemente la presencia de un diente fracturado en un engrane, pero por el tamaño tan grande de las rebabas generadas, el análisis de partículas de desgaste es inefectivo. Las rebabas se precipitan hasta el fondo del tanque y nunca podrán ser recogidas en una muestra de aceite hasta que se oxidan y se disuelven en el aceite, en un proceso que puede durar meses.

El caso de las cajas de engranajes, cuando se incrementa la vibración en la frecuencia de contacto de los engranes, la inspección del conteo de partículas y del porcentaje de partículas ferrosas revela incremento en ambas categorías, mejorando la confianza en el diagnóstico de la existencia de problemas.

Vibración debida a desbalanceo. El desbalanceo de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalanceo indican:

- La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x las rpm de la pieza desbalanceada.
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las maquinas con ejes horizontales).
- El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
- La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°.

Vibración debida a falta de alineación. En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

- La frecuencia de vibración es de 1x rpm; también 2x y 3x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
- El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.
- La falta de alineamiento, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Uno de los indicios más importantes de problemas debidos a falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineamiento en el acoplamiento son: angular, en paralelo y una combinación de ambos.

Una falta de alineamiento angular sujeta principalmente los ejes de las maquinas accionadoras y accionada a vibración axial igual a la velocidad de rotación (rpm) del eje.

La falta de alineamiento en paralelo produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

Vibración debida a aflojamiento mecánico. El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo (machacado) resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es $2x$, y también múltiplos más elevados, de las rpm. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desbalance o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalance o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

Un aflojamiento mecánico excesivo es muy probable que sea la causa primaria de los problemas cuando la amplitud de la vibración $2x$ las rpm es más de la mitad de la amplitud a la velocidad de rotación, $1x$ las rpm.

Vibración de elementos rodantes defectuosos. Defectos en las pistas, en las bolas o en los rodillos de rodamientos de elementos rodantes ocasionan vibración de alta frecuencia; y, lo que es mas, la frecuencia no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá de la gravedad de la falla del rodamiento.

La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo. Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos; y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan vibración.

Causas comunes de fallas en los rodamientos de elementos rodantes son:

- Carga excesiva.
- Falta de alineamiento.
- Defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento.
- Montaje defectuoso.
- Ajuste incorrecto.
- Lubricación inadecuada o incorrecta.
- Sellado deficiente.
- Falsa brinelación (Deformación bajo carga).
- Corriente eléctrica.

Vibración por lubricación inadecuada. Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar problemas de vibración en un rodamiento de chumacera. En semejantes casos la lubricación inadecuada causa excesiva fricción entre el rodamiento estacionario y el eje rotante, y dicha fricción induce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama "dry whip", o sea látigo seco, y es muy parecido al pasar de un dedo mojado sobre un cristal seco.

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco generalmente es muy alta y produce el sonido chillón característico de los rodamientos que están funcionando en seco. No es muy probable que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las rpm del eje, de manera que no es de esperarse ningún patrón significativo bajo la luz estroboscópica. En este respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción en mal estado.

Toda vez que se sospeche que un látigo seco sea la causa de la vibración se deberá inspeccionar el lubricante, el sistema de lubricación y la holgura del rodamiento.

Vibración debida a problemas de engranaje. La vibración que resulta de problemas de engranaje es de fácil identificación porque normalmente ocurre a una frecuencia igual a la frecuencia de engrane de los engranajes – es decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las rpm del engranaje que falla.

Problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibración a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

No todos los problemas de engranajes generan frecuencias de vibración iguales a las frecuencias de engrane. Si un engranaje tiene un solo diente roto o deformado, por ejemplo, el resultado puede ser una frecuencia de vibración de 1x las rpm.

Mirando la forma de onda de esa vibración en un osciloscopio conectado con un analizador, la presencia de señales de impulso permitirá distinguir entre este problema y las demás averías que también generan frecuencias de vibración de 1x las rpm. Desde luego, si hay más de un diente deformado, la frecuencia de vibración es multiplicada por una cantidad correspondiente.

La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

Los problemas de rodamientos son predominantes en el punto de falla de los mismos, mientras que los problemas de engranajes pueden ser detectados en dos o más puntos de la maquina.

En general, podemos hacer las siguientes conclusiones acerca de la combinación del análisis de aceite y el análisis de vibración en la detección y análisis de las fallas en la maquinaria:

- Ambas técnicas son requeridas para el control de las causas de falla de la maquinaria.
- Frecuentemente, una técnica sirve como indicador inicial de la falla de la maquinaria mientras que la otra sirve como un indicador de confirmación.
- El análisis de aceite es generalmente más fuerte en la detección de fallas en cajas de engranes, sistemas hidráulicos y equipo recíprocante.
- El análisis de vibración es generalmente más fuerte en la detección de fallas en sistemas de alta velocidad de chumaceras.
- El análisis de vibración es frecuentemente mejor en localizar el punto de falla dependiendo de la aplicación.
- El análisis de aceite es frecuentemente más fuerte en determinar el mecanismo de desgaste que induce la falla.
- Ambas técnicas son requeridas para determinar efectivamente la causa de falla.
- La correlación entre el análisis de aceite y el análisis de vibración es muy buena, pero hay circunstancias contrarias.

5. ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

5.1 SISTEMA ERP-CMMS GSAP.

El registro de la información de mantenimiento se almacena y procesa a través del sistema informático GSAP, el cual opera satisfactoriamente con el seguimiento de indicadores CMD y mantenimiento preventivo. Como el módulo de mantenimiento no puede variar la métrica de medición que es las horas de operación del equipo, todo lo que tenga que ver con tareas de lubricación y vibraciones se notificará en la orden de trabajo (figura 35), con los horómetros correspondientes para tener los registros sin perder de vista el rendimiento y la extensión del período de cambio como ahorro en el proceso.

Figura 35. Formato orden de trabajo GSAP.



Cerro Matoso SA

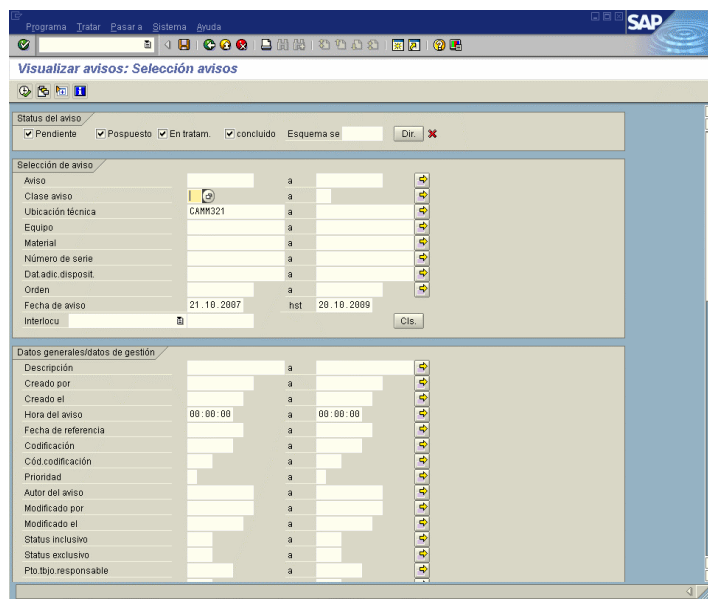
Orden 20001262
No. Total de Operaciones 2

Ubicación Técnica	CAMMS27	Camion M3 - 27 Serie BDA
Equipo		
No. de Serie		
Condición	Cualquier momento	Tipo de Manto: P Preventivo
Grupo de Planificación	PMI	
HH Total Planeado (Hr)	32.0	Fecha Inicio Est. 31.08.2006 08:00:00
Dur. Trab. Planeado (Hr)	16.0	Fecha Fin Est. 01.09.2006 17:20:00
Descripción de la Orden	Mtto Preventivo Camion M3-27	

Operacion 0010 Mantenimiento Cada 500 Horas			
Puesto de Trabajo	MI-MECAN	No. de Personas	0
HH Estimadas	16.0	Fecha de Inicio Estimada	31.08.2006 08:00:00
Duración Estimada (Horas)	8.0	Fecha de Fin Estimada	31.08.2006 18:40:00
Texto Extendido de la Operación			
Materiales Requeridos			
Código	Texto	Cantidad	Un. Med.
			Reserva
			Posición
60071604	TORNILLO 3/4X3.1/4" 1D-4610 CATERPILLAR	10	EA
			0000019574 0001
60072133	English Desc Req	20	EA
			0000019574 0002

Las demás actividades de mantenimiento periódico seguirán programándose de manera automática en función del tiempo en horas del equipo. El sistema GSAP permite obtener el listado de los avisos de mantenimiento a través de una transacción del sistema, de esta forma se puede obtener un historial completo de todas las intervenciones hechas al equipo siempre y cuando las notificaciones se hagan de manera técnica (figura 36). No existe un procedimiento de control que garantice la calidad de la información, por esto se debe crear un lenguaje específico de términos de mantenimiento de equipo minero y homologar todos los criterios de los técnicos con una sola terminología. Es decir, “*crear el tempario de reparaciones y vocabulario técnico de equipos mineros*”.

Figura 36. Ventana GSAP para visualización de avisos de mantenimiento.

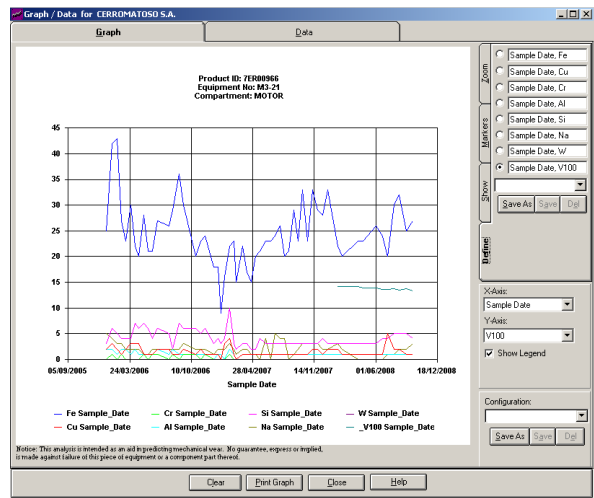


Cortesía: Cerromatoso S.A.

5.2 SOFTWARE TAM CATERPILLAR.

El TAM es un software de Caterpillar Inc., al servicio de los clientes con gran número de equipos, el cual es alimentado por archivos de base de datos planos mediante correo electrónico. Cada archivo representa un lote de muestras procesado en el laboratorio ubicado en la Ciudad de Barranquilla, y requiere una rutina específica para lograr la interfase local de cada PC con la carpeta que contenga las bases de datos. Una vez haya interactuado el software con las bases de datos, se puede comenzar a trabajar con la información, realizando consultas, tendencias y reportes de conteo de muestras para gestión de costos (figura 37).

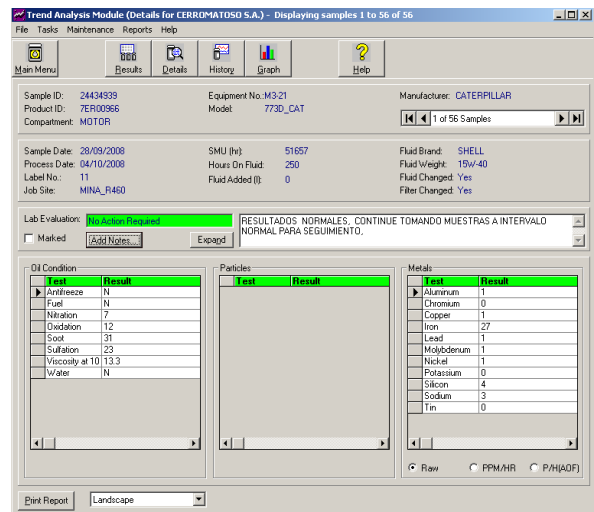
Figura 37. Ventana para visualización de tendencias – TAM.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

Para tener el registro de los períodos de cambio, se debe mejorar el control de la calidad de los registros en las etiquetas de las muestras de aceite que dependen de los técnicos que toman la muestra y los auxiliares de planeación, ya que el software utilizado para el análisis periódico de aceite TAM – Trend Analysis Module, permite llevar este seguimiento con la información respectiva de cada muestra analizada (figura 38).

Figura 38. Ventana para visualización de la información por muestra – TAM.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

En la figura 39 se muestra el formato de un reporte impreso correspondiente a la caja de bombas de la perforadora M6-01 con el histórico de las siete últimas muestras de aceite tomadas a este componente.

Cuando se tienen almacenados correctamente los archivos de base de datos, se puede tener todo el historial de registros y con ellos se obtienen múltiples reportes y tendencias para ser utilizadas en los pronósticos de falla o vida útil aproximada.

Figura 39. Reporte de análisis de aceite.

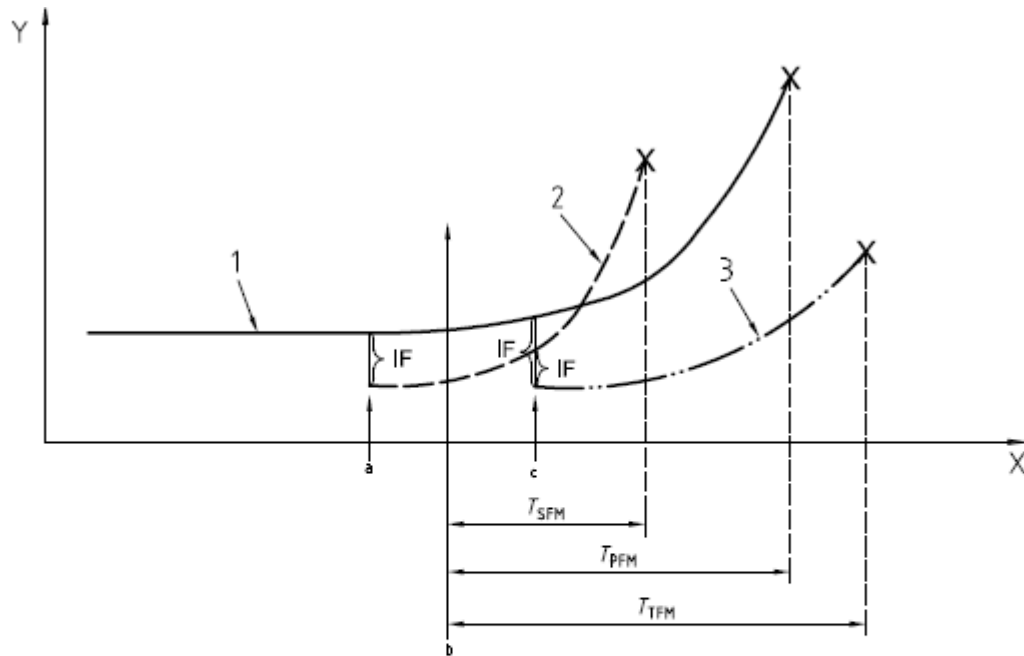
CERROMATOSO S.A.		Customer Equip. No.: M6-01	Shop Job No.:														
		Compartment: CAJA DE BOMBA	Segment No.:														
		Serial No.: 731663_R460	Customer P.O. No.:														
		Manufacturer: DRILL TEC	Sample Label No.: 48														
Phone:		Model: C25K3H_DRILL_TEC															
Fax:		Job Site: MINA_R460															
		Market Status:															
Overall Evaluation Codes: AR = Action Required MC = Monitor Compartment NAR = No Action Required NC = No Comment																	
Sample Data		Wear Elements															
Sample No.	Taken Date	Process Date	Label No.	SMU Hr.	Oil Hr.	Overall Eval.	Fe	Cu	Cr	Ni	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo
23300406	16/12/2008	20/12/2008	48	500	500	MC	359	0	2	1	2	0	0	28	6	0	0
25000950	17/11/2008	21/11/2008	37	232	178	NAR	406	0	2	1	2	0	0	21	4	0	0
24629906	18/10/2008	20/10/2008	39	54	276	NAR	133	0	1	1	0	0	0	7	3	0	0
24434975	29/09/2008	04/10/2008	47	9777	250	MC	137	0	1	0	1	0	0	6	3	0	0
24030315	26/08/2008	29/08/2008	26	9552	174	MC	128	1	1	0	1	0	0	10	3	0	0
23672113	25/07/2008	29/07/2008	37	9378	250	MC	68	1	1	0	1	0	0	15	3	0	0
23378769	29/06/2008	02/07/2008	47	9193	430	MC	233	1	2	1	4	0	0	24	0	1	0
Oil Data		Oil Condition / Contaminants										Particle Count					
Sample No.	Oil Brand	Oil Grade	Oil Added	Oil Chg.?	W	A	V100	5µ	10µ	15µ	20µ	25µ	50µ	75µ	100µ	150	
23300406	SHELL	80W-90	01	Yes	N	N	12.3	40821	14093	5805	2340	1117	107	32	15	23/20	
25000950	SHELL	80W-90	01	Yes	N	N	15.3	9225	684	245	118	72	19	4	2	20/15	
24629906	SHELL	80W-90	01	Yes	N	N	15.2	2021	263	91	37	20	5	2	1	18/14	
24434975	SHELL	80W-90	01	Yes	N	N	14.1	7603	725	163	37	16	3	2	1	20/15	
24030315	SHELL	80W-90	01	Yes	N	N	13.2	17537	6606	4028	2367	1420	202	68	34	21/19	
23672113	SHELL	80W-90	01	Yes	N	N	13	13337	4148	2338	1063	388	14	6	3	21/18	
23378769	SHELL	80W-90	01	No	N	N	13.3	9368	581	162	56	23	8	5	3	20/15	
Evaluations & Recommendations:																	
23300406: HIERRO CONTINUA DE ATENCION, DEMAS ELEMENTOS PARECEN ACEPTABLES, ALGO DE LIMALLA FINA VISIBLE, SE INDICO CAMBIO DE ACEITE. TOME OTRA MUESTRA PARA SEGUIMIENTO.																	
25000950: HIERRO DE ATENCION, LOS DEMAS ELEMENTOS ACEPTABLES. ALGO DE LIMALLA FINA VISIBLE. SE INDICO CAMBIO DE ACEITE. TOME OTRA MUESTRA PARA SEGUIMIENTO.																	
24629906: CAMBIO SECUENCIA DE LECTURA DEL HOROMETRO, RESULTADOS ACEPTABLES PARA EL TIEMPO DE USO DEL ACEITE. CONTINUE TOMANDO MUESTRAS EN EL INTERVALO NORMAL PARA SEGUIMIENTO.																	
24434975: LEVE VARIACION RESPECTO AL ANALISIS ANTERIOR, LA VISCOSIDAD SIGUE COMA MISMA TENDENCIA DE LOS ANALISIS ANTERIORES. VERIFIQUE EL TIPO DE ACEITE ABRIGADO. SE INDICO CAMBIO DE ACEITE. TOME OTRA MUESTRA PARA SEGUIMIENTO.																	
24030315: EL DESGASTE DE METAL PARECE ACEPTABLE, SIN EMBARGO, LA VISCOSIDAD NO CORRESPONDE CON EL ACEITE DE REFERENCIA, SE INDICO CAMBIO DE ACEITE. TOME OTRA MUESTRA PARA SEGUIMIENTO.																	
23672113: HIERRO Y SILICIO HAN MEJORADO, LOS RESULTADOS PARECEN ACEPTABLES EN ESTA MUESTRA SE INDICO CAMBIO DE ACEITE. TOME OTRA MUESTRA PARA SEGUIMIENTO.																	
23378769: CONDICION DEL ACEITE ES SIMILAR AL ANALISIS PREVIO. NO SE EVIDENCIA NINGUNA CONTAMINACION APARENTE. TOME OTRA MUESTRA PARA SEGUIMIENTO.																	

Fuente: TAM Caterpillar – Cerromatoso S.A.

Todos los componentes conservan el registro histórico de los resultados obtenidos en cada análisis, y es de aquí que se obtienen las líneas base de desgaste y límites de alarma para cada uno de ellos.

Esto se logra con el cálculo periódico de la media aritmética de cada uno de los elementos de desgaste presentes y contaminantes del aceite. Lo mismo se hace con el nivel de vibraciones y las temperaturas (figura 40).

Figura 40. Tendencias de desgaste de componentes.



Key

- | | | | |
|----|---|-----------|---|
| X | time | T_{PFM} | is the estimated time to failure of the PFM |
| Y | severity of parameter | T_{SFM} | is the estimated time to failure of the SFM |
| 1 | PFM: primary failure mode (solid line) | T_{TFM} | is the estimated time to failure of the TFM |
| 2 | SFM: secondary failure mode (dashed line) | a | Time of secondary failure mode initiation. |
| 3 | TFM: tertiary failure mode (dotted line) | b | Present time. |
| IF | is the influence factor | c | Time of tertiary failure mode initiation. |

Fuente: ISO 13381-1:2004. Condition Monitoring and Diagnostics of Machines.

Los límites de desgaste obtenidos por componente son resumidos en una tabla genérica de acuerdo al tipo de componente y se aplica teniendo en cuenta otros parámetros de operación, marca, potencia, tipo de servicio, etc.

La tabla 4 muestra límites de desgaste para motores diesel de los equipos mineros de Cerromatoso, los cuales son verificados por vibraciones, temperatura, grado de limpieza, viscosidad, contaminación, horas de servicio del componente y uso del aceite. Esta tabla se replica para los demás componentes con los valores obtenidos para cada uno de ellos respectivamente.

Tabla 4. Límites de desgaste en ppm para motores Diesel.

Motores Diesel			Ppm / 500 Hrs			
Metal	Símbolo	Posible fuente del metal	Normal	Marginal	Precaución	Crítico
Hierro	Fe	Camisa, engrane, anillos	0-40	41-70	71-100	>100
Cromo	Cr	Anillos, levas, elevadores	0-5	6-10	11-15	>15
Plomo	Pb	Cojinetes, arandelas	0-15	16-25	26-40	>40
Cobre	Cu	Cojinetes, bujes, arandelas	0-15	16-25	26-45	>45
Estaño	Sn	Rodamientos, arandelas	0-10	11-15	16-20	>20
Aluminio	Al	Pistones, cojinetes, tierra	0-6	7-15	16-20	>20
Silicio	Si	Tierra, antiespumante	0-5	6-10	11-15	>15
Sodio	Na	Refrigerante, sal, aditivo	0-5	6-15	16-30	>30

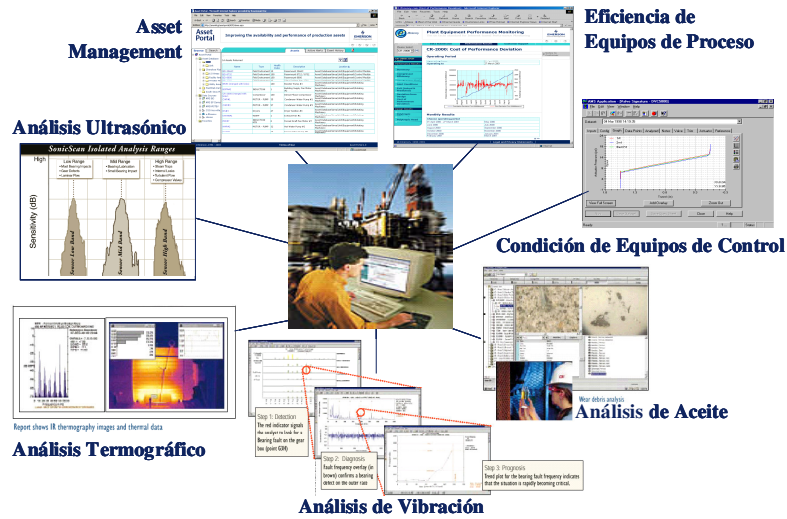
Una vez establecidos estos límites de desgaste, se monitorea continuamente por medio de los reportes de laboratorio y cada vez que una muestra revele un valor mayor al parámetro, se genera un aviso de alarma para corregir la causa y esto asegura que el componente vuelva a sus condiciones normales de operación, ya que la detección temprana de cualquier anomalía evita consecuencias mayores y fallas catastróficas.

La falla catastrófica se presenta ya cuando el componente tiene un tiempo de operación muy superior al de diseño del fabricante, porque los efectos de la contaminación y operación anormales no hacen parte de la causa de falla.

5.3 SOFTWARE AMS MACHINERY HEALTH MANAGER.

Este software opera de manera integrada todos los equipos de mantenimiento predictivo para análisis de aceite, vibraciones, ultrasonido, termografía y monitoreo en línea para equipos industriales. En un solo paquete informático, puede conocerse toda la información de los componentes para monitoreo de condiciones con sus respectivas tendencias. Puede ser alimentado con diversos parámetros de comparación para deducir los límites de limpieza, vibración, temperatura, etc. Aporta mucho al análisis de fallas, ya que internamente tiene programado un catálogo de ferrografía en el módulo de análisis de aceite, el cual es derivado del registro en línea de una base global de información suministrada por el proveedor (figura 41).

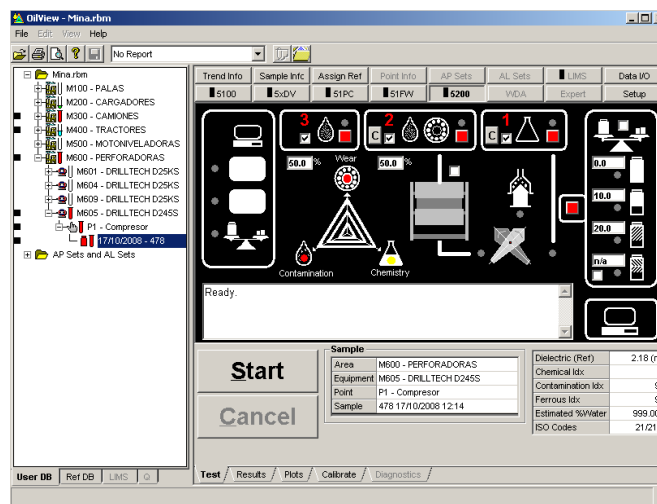
Figura 41. Aplicaciones del software Machinery Health Manager.



Fuente: www.assetweb.com

En Cerromatoso solo se dispone del equipo analizador de aceites Minilab 5200 el cual consta de un contador de partículas, viscosímetro, analizador de desgaste y contaminación y condición química del aceite. Los otros equipos de diagnóstico deben adquirirse para obtener los beneficios de un programa de mantenimiento predictivo completo que unifique todas las variables del comportamiento de los componentes en operación (figura 42).

Figura 42. Ventana para visualización de funciones Minilab 5200.



Cortesía: Cerromatoso S.A.

6. FILOSOFÍA DE SISTEMAS Y GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

En mantenimiento es necesario reconocer dos aspectos básicos: gestión y ejecución, la primera se refiere al manejo de los recursos, a su planeación y su control, mientras que la segunda es la realización física del servicio de mantenimiento. La gestión de mantenimiento debe enfocarse en dos direcciones: una de ellas es en la gestión que realiza mantenimiento con los demás departamentos enmarcado dentro de los objetivos de la empresa y la segunda es la gestión integral e interna propia del departamento.

El esquema moderno de mantenimiento implica la vinculación de herramientas propias de la gestión, el concepto integral se maneja desde la base de utilizar en forma eficaz y eficiente los factores productivos en forma individual y conjunta, para aplicarlos mediante una adecuada gestión de mantenimiento (correctiva, modificativa, preventiva, predictiva, proactiva o combinación de ellas), con la definición de metas concretas a lograr en cada una de las variables importantes de mantenimiento, al utilizar el concepto de servicio al cliente, para centrar la organización en el desarrollo de habilidades y competencias esenciales en el recurso humano motivado, para satisfacer los requerimientos del usuario de mantenimiento interno o externo.

Mantenimiento debe dejar de trabajar bajo el enfoque de manejar un presupuesto a tener que salir a buscar sus propios ingresos (gestión de activos), para lo cual debe desarrollar estrategias de mercadeo que le permitan alcanzar niveles altos de productividad y competitividad mediante el establecimiento de planes estratégicos de alta dirección como empresa independiente que tiende a convertirse en generadora de ingresos propios y adicionales a la empresa de su origen. La gestión de mantenimiento contempla la planeación, organización, coordinación, dirección, ejecución y control de todas las actividades inherentes a mantenimiento con el fin de cumplir su misión.

El modelo de la teoría de sistemas define a los departamentos de las empresas como módulos administrativos independientes (mantenimiento, producción, etc.), a los cuales los denomina unidades, y estos a su vez conforman un sistema, con metas propias individuales y comunes al sistema (empresa). Un sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas. Las unidades a su vez se pueden considerar como elementos de un sistema cuando se encuentran relacionados entre sí por alguna forma de interacción o interdependencia.

7. ESTRUCTURA FUNCIONAL DE MANTENIMIENTO

7.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.

La operación minera en Cerromatoso S.A., opera las veinticuatro horas, en tres turnos de ocho horas, durante los 365 días del año. Por esta razón, es necesario contar con una estructura organizacional muy bien definida y en función de la producción.

La ejecución del mantenimiento depende de la gerencia de producción de cada unidad de negocio; esto incluye el control presupuestal, la asignación de funciones a todos los niveles, la inspección rutinaria de los equipos, la operación y su conservación.

La planeación y confiabilidad dependen de la gerencia de mantenimiento que se encuentra en un nivel jerárquico igual al de todas las unidades de negocio.

La gerencia de mantenimiento planea a corto y largo plazo todas las tareas y actividades necesarias para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos.

Se apoya en los sistemas informáticos, el soporte técnico de contratistas y el personal a cargo que interactúa con cada unidad como cliente.

Registra la información y mide la gestión periódicamente (semanal, mensual, trimestral, anual y quinquenalmente) por medio de indicadores. El diagrama de esta estructura se puede visualizar en la figura 43.

7.2 PROCESO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MINEROS EN CMSA.

El Proceso de Mantenimiento Mina es una sección funcional dentro de Cerro Matoso, cuyos clientes son las Unidades de Negocio de Operación Mina, Preparación de Mineral, Calcinación-Fundición, Refinería y Servicios de Operaciones; a las cuales, se les presta el servicio de mantenimiento de sus equipos pesados de minería y soporte (diagrama 5).

Figura 43. Estructura Organizacional de Mantenimiento en CMSA.

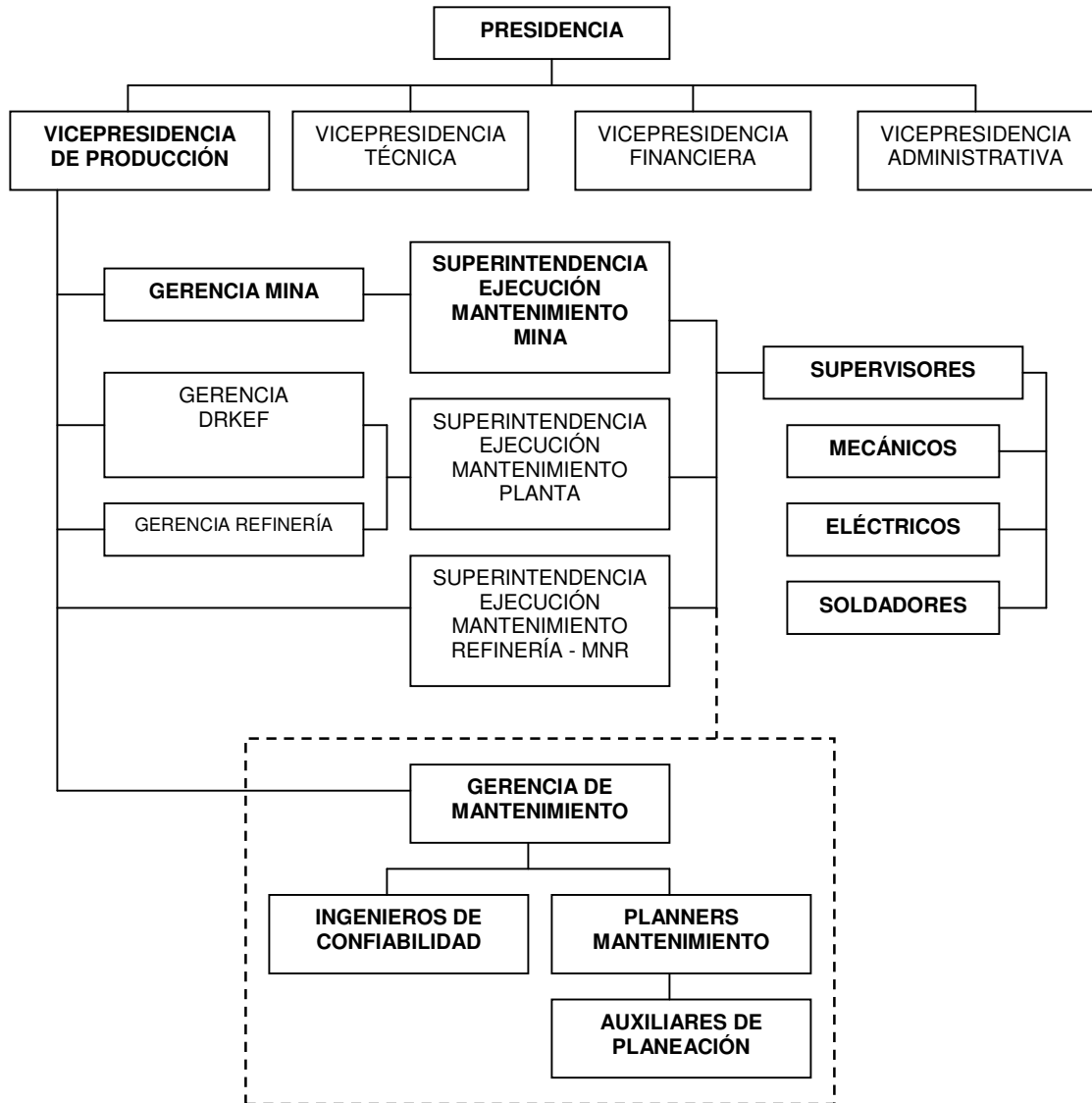
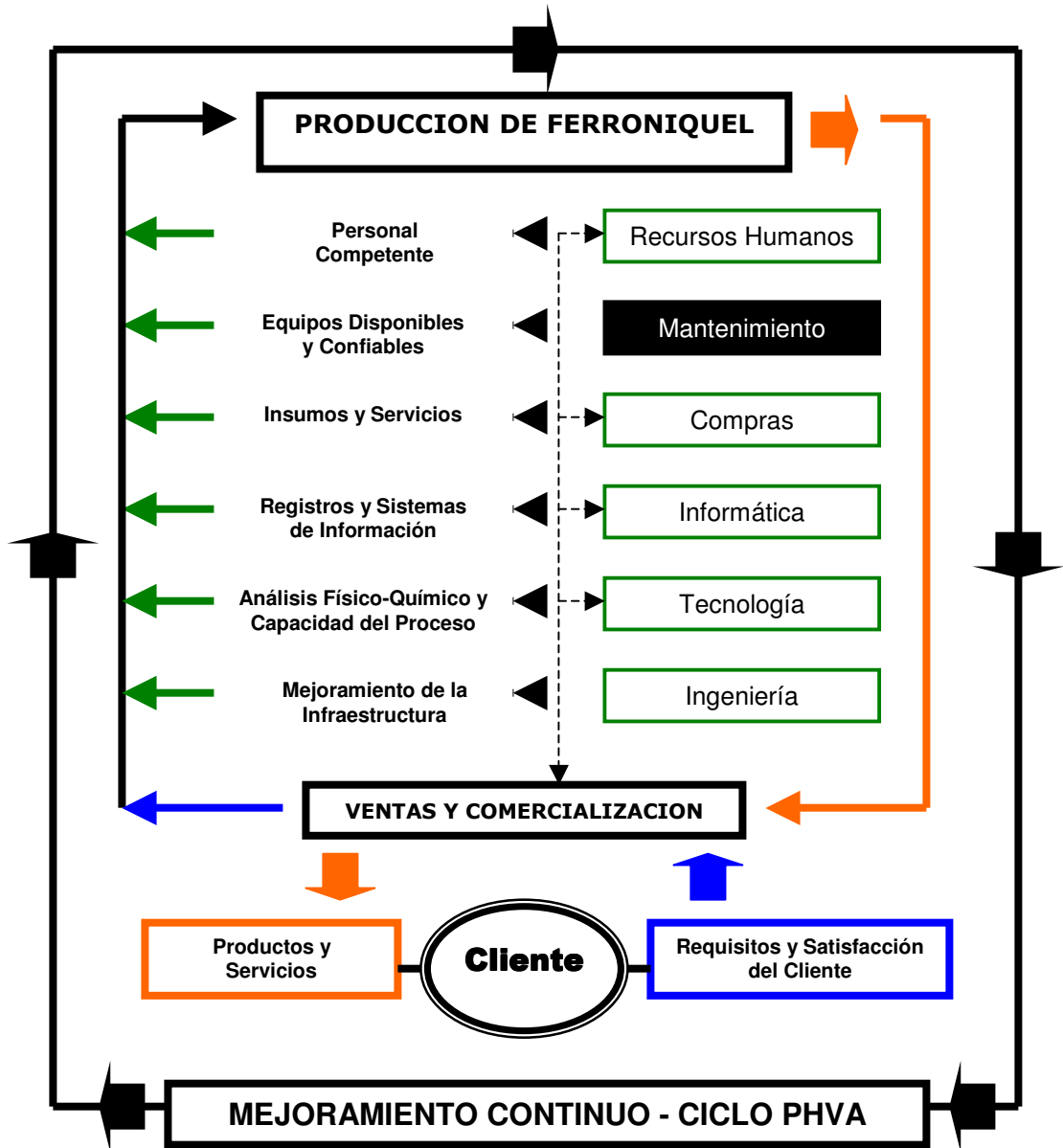


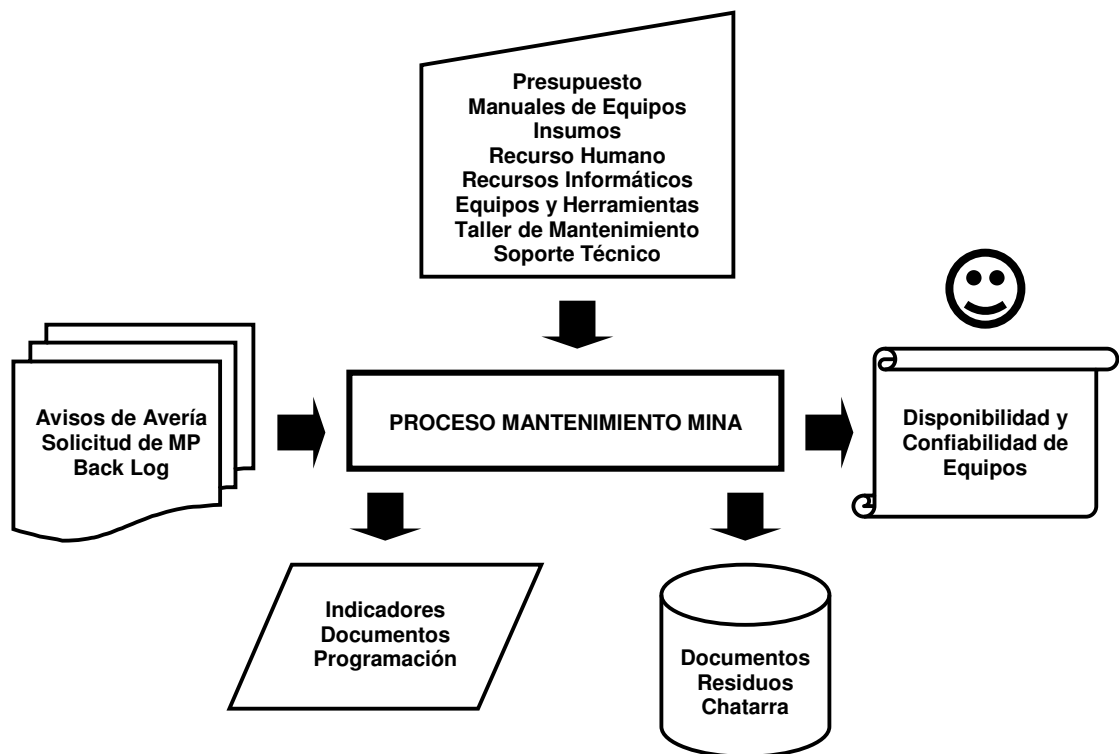
Diagrama 5. Ubicación del proceso de Mantenimiento Mina.



El Proceso de Mantenimiento Mina tiene como base las políticas corporativas y los lineamientos generales estandarizados del grupo BHPBilliton para el mantenimiento de equipo pesado de minería y soporte dentro de Cerro Matoso, requeridos para el normal funcionamiento del Proceso de Producción de Ferroníquel.

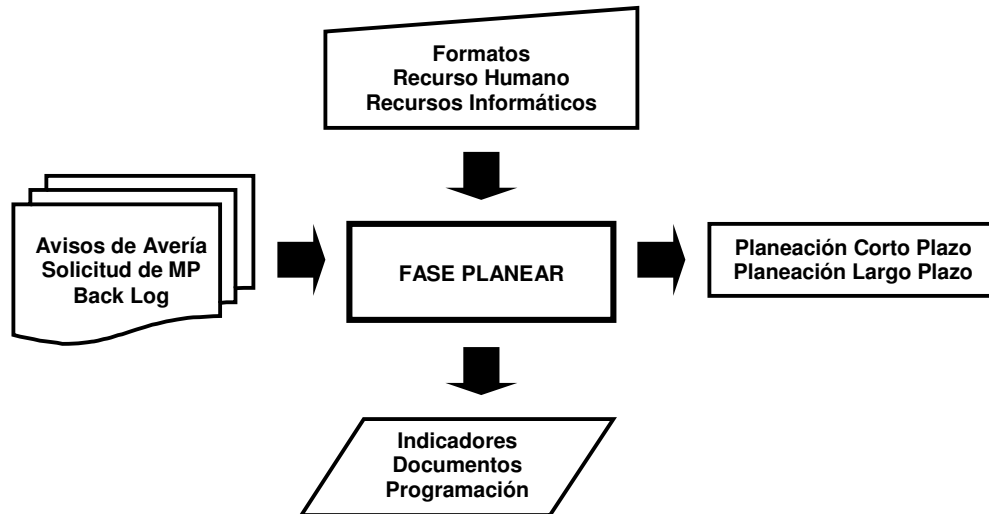
Este proceso tiene como objetivo el aumento de la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, conservación de los activos y bajos costos; mediante un mantenimiento ejecutado y documentado que asegure la continuidad de los diferentes procesos operativos dentro de las Unidades de Negocios (diagrama 6).

Diagrama 6. Entradas y Salidas del Proceso de Mantenimiento.



7.2.1 Fase planear. La Fase Planear es una parte fundamental del proceso de Mantenimiento Mina que se desarrolla entre los requerimientos de mantenimiento y la fase Hacer. Esta fase realiza la planeación y programación de los trabajos requeridos por los clientes de acuerdo a los avisos de avería generados por los técnicos de mantenimiento y operación Mina, para entregar como resultados una planeación a corto y a largo plazo (diagrama 7).

Diagrama 7. Proceso Fase Planear.



El proceso de Planeación inicia con los avisos de avería realizados por operación (clientes), avisos de mantenimiento realizados por los técnicos de mantenimiento y por la inspección de Pre PM. El técnico de Pre PM hace sus inspecciones con base a una programación. El reporte de avería viene acompañado de un Back log realizado por los técnicos, en el cual se especifican los siguientes aspectos:

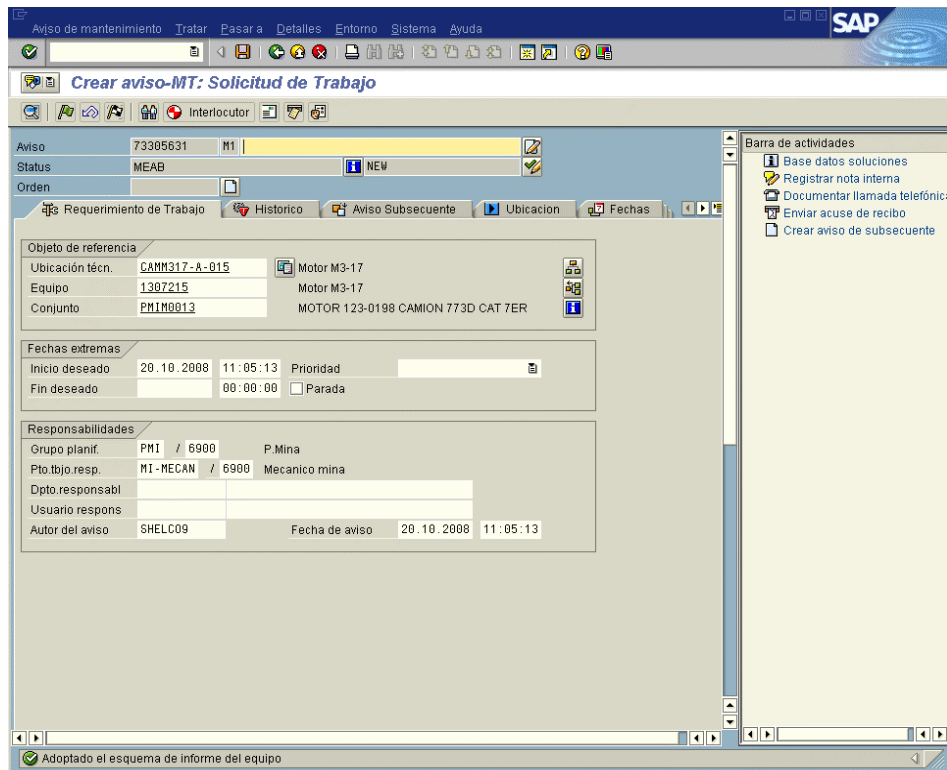
- Equipo
- Fecha
- Componente afectado
- Orden de trabajo
- Descripción de la falla
- Correctivo a realizar
- Horas hombre
- Horas máquina
- Partes requeridas.

El auxiliar de planeación revisa el reporte y lo ingresa al sistema (GSAP), convirtiéndolo en un aviso (figura 44); este tiene los siguientes status de acuerdo al estado en que se encuentre:

- Nuevo. Cuando se ingresa al sistema.
- Chequeado. Cuando lo revisa el técnico de Pre-PM.
- Revisado. Cuando es confirmado por el Planner y aprobado.

- Aprobado. El Planner lo aprueba y de inmediato se realiza la orden de trabajo. Esta orden no es liberada hasta tanto estén cumplidos todos los requisitos de horas hombre, materiales y fecha de ejecución. Esta fecha de ejecución es concertada con el superintendente de Ejecución.
- Rechazado. Cuando el aviso no es consistente con el estado del equipo, cuando está mal diligenciado y/o repetido en el sistema. Este aviso se debe notificar y cerrar.

Figura 44. Aviso GSAP

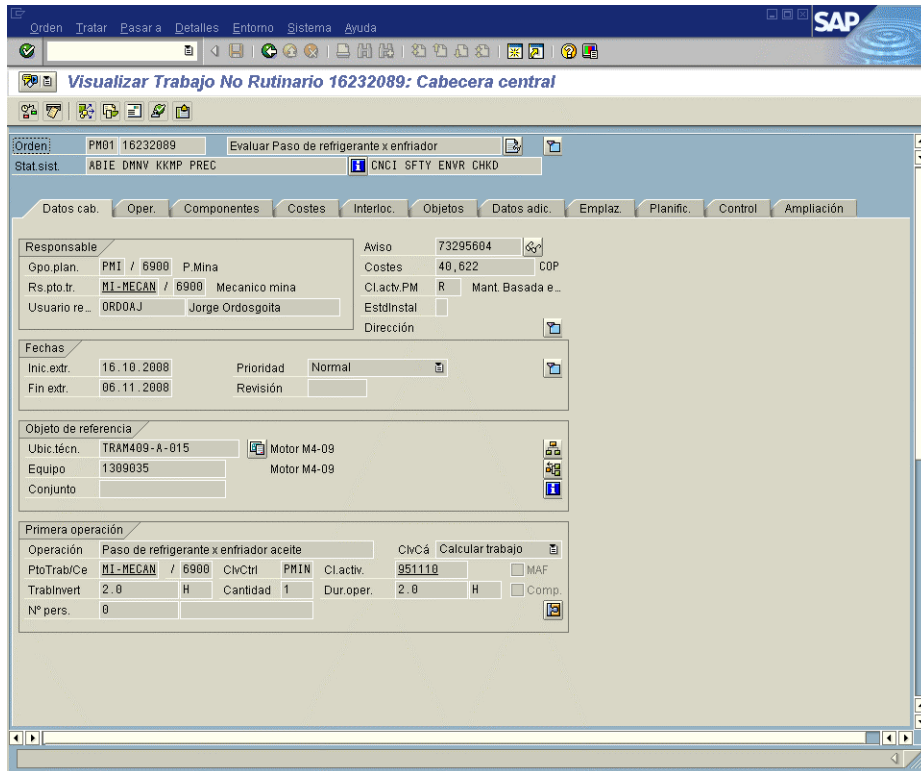


Cortesía: Cerro Matoso S.A.

Una vez la orden ha sido programada y liberada, pasa hacer parte de la Fase Hacer. Realizada la orden, ésta se notifica y se le da un nuevo status de cierre técnico (figura 45).

Cada equipo tiene su propia hoja de vida; con su Back log programado en mantenimiento preventivo y pendientes ya sea por repuestos o esperando programación, formatos de PM, órdenes de trabajo, descripción de trabajos realizados y requerimientos.

Figura 45. Orden de Trabajo GSAP



Cortesía: Cerro matoso S.A.

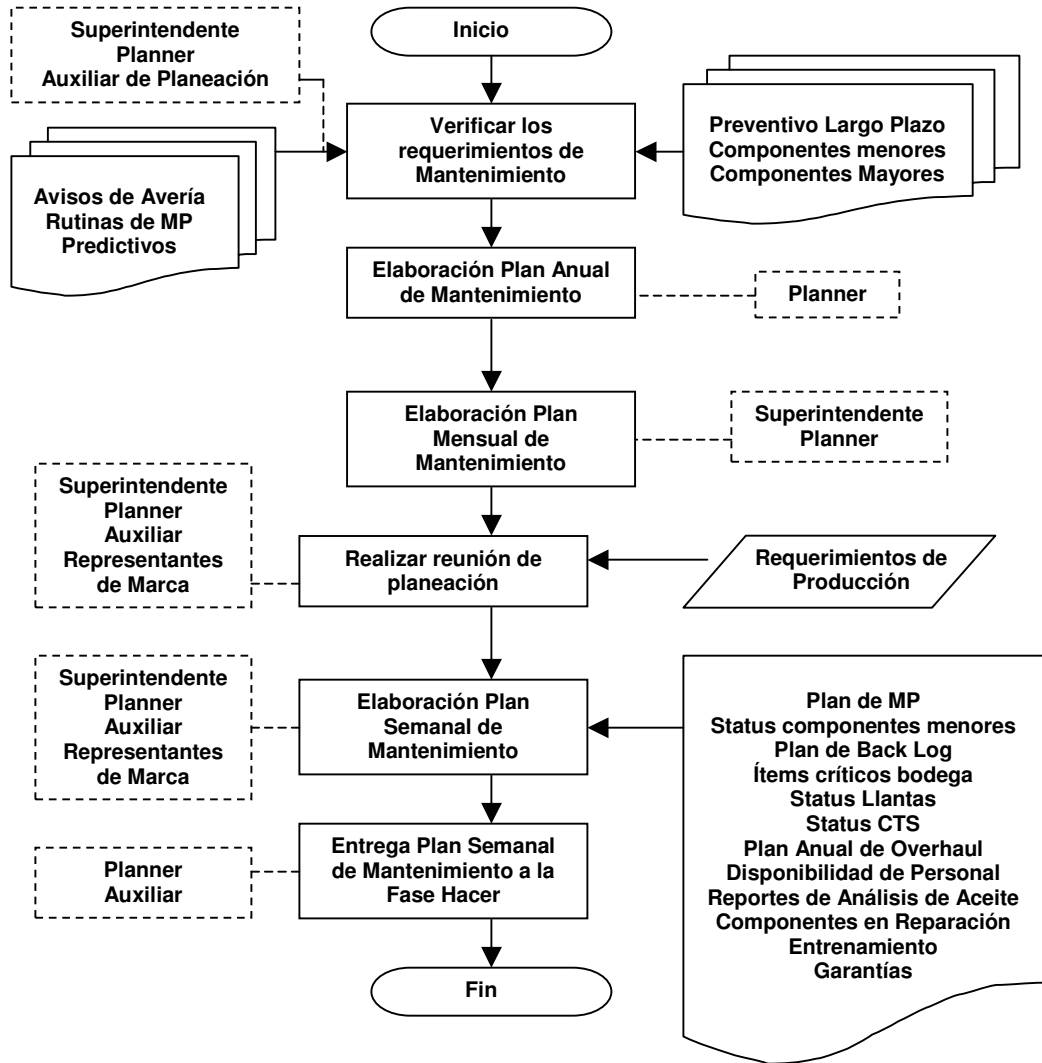
La fase planear, incluye también una serie de reuniones del equipo líder de planeación (diagrama 8), donde se obtiene como resultado lo siguiente:

- Planeación a corto plazo. Semanal, quincenal y mensual.
- Planeación a largo plazo. Trimestral, semestral y anual.

Planeación a corto plazo. Se realiza una primera reunión semanal en la que participan el Planner, Auxiliar de planeación, Ingenieros de soporte de empresas contratistas, representante de la operación de equipo minero, representante de Materiales, técnico de pre-pm, facilitador de la parada de mantenimiento, Ingeniero de Confiabilidad y el superintendente.

Aquí se hace una revisión del Pre-plan, se evalúa el plan general (distribución, cantidad de equipos por flota, tiempos de parada y equipos auxiliares), la disponibilidad planeada por set de equipos y de personal.

Diagrama 8. Operación de la fase planear.



La reunión de planeación a corto plazo tiene una agenda establecida, la cual es conocida por todos los miembros del equipo y la información que se analiza son los reportes de análisis de aceite, inspecciones estructurales, plan de cambio por horas de componentes menores, plan de cambio por horas de componentes mayores y plan de Overhaul (figura 46) .

Figura 46. Agenda para elaboración de plan semanal.

MTTO MINA

Agenda para elaborar PLAN SEMANAL

Cerro Matoso

LUGAR: OFICINA SUPERINTENDENTE DE MTTO.
FECHA Y HORA: Jueves 8:30AM
ASISTENTES: Superintendente, Planer, Ing de Mtto , GECOLSA, CHM, Imocon
TIEMPO: 2 HORAS



Agenda

✓	Contacto de Seguridad.	-----	Todos	-----	5'
✓	Verificar Lista de Documentos	-----	J.O	-----	5'
✓	Revisión plan de PM proyectado	-----	J.O	-----	5'
✓	Plan de Palas	-----	J.O - CHM - Shel	-----	15'
✓	Plan de Perforadoras	-----	J.O - Imocon - Shell	-----	15'
✓	Plan equipos CAT	-----	Todos	-----	60'
✓	Acciones Especiales TAM	-----	Shell - J.O	-----	10'
✓	Programación tareas especiales: (Entrenamiento , Evaluaciones , Investigaciones etc)	-----	R.P	-----	10'

DOCUMENTOS NECESARIOS (Chequeo por cada set de equipo)

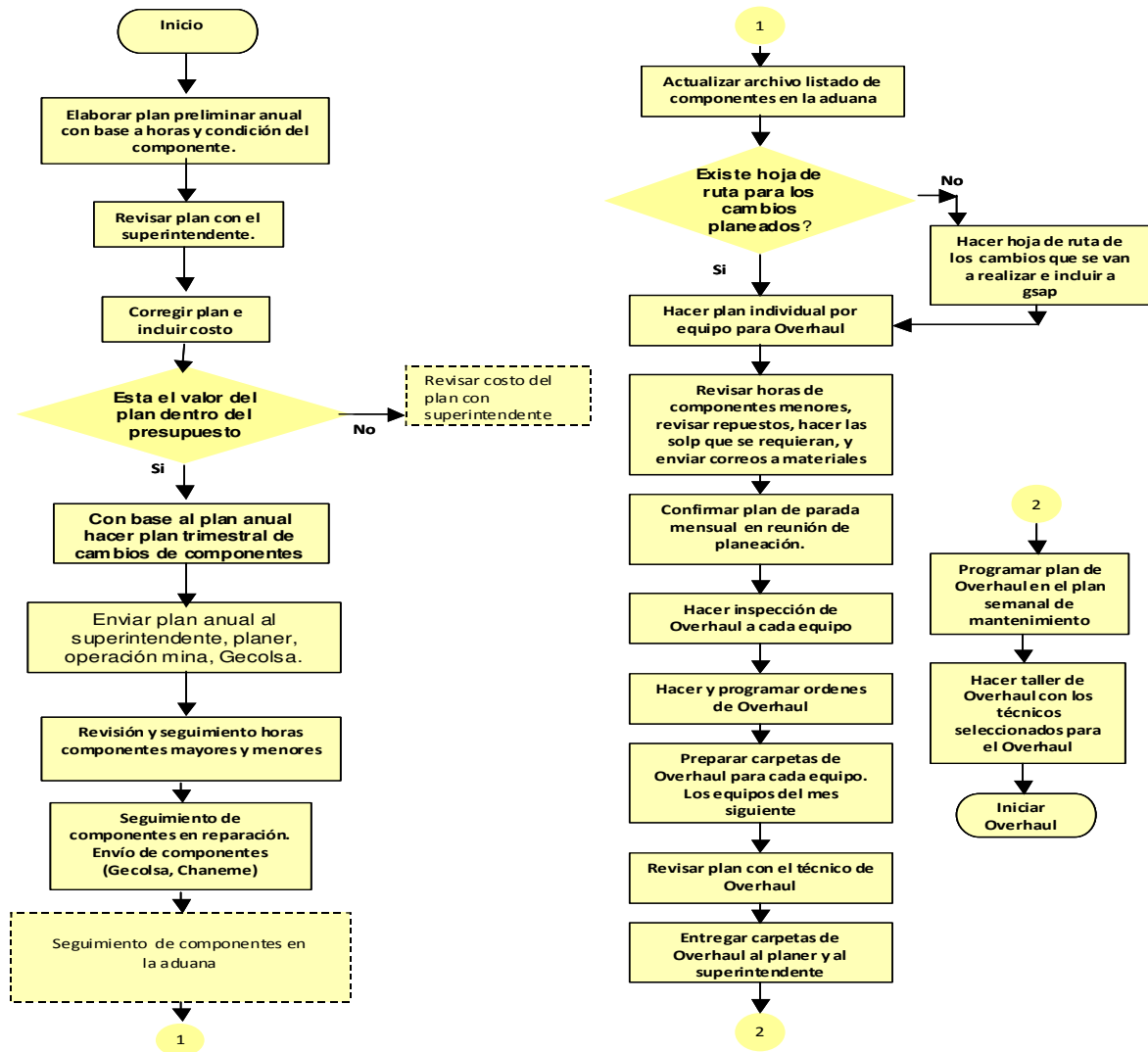
✓	Plan de PM	-----	(J.O.)
✓	Status Componentes menores	-----	(E.P)
✓	Plan de backlog	-----	(J.O)
✓	Query SAP	-----	(E.P,CHM,Imocon)
✓	Status Llantas	-----	(J.O)
✓	Satatus CTS.	-----	(J.O)
✓	Plan anual OH	-----	(E.P)
✓	Satus items criticos	-----	(E.P,CHM, IMOCON)
✓	Lista de acciones Planeacion	-----	(J.O)
✓	Disponibilidad personal CTP para semana	-----	(R.P)
✓	Reporte de seguimiento a acciones Aceites	-----	(shell)
✓	Listado de acciones TAM (Shell)	-----	
✓	Status componentes en Gecolsa	-----	(Gecolsa)
✓	Status componentes en Chaneme	-----	(CHM)
✓	Requerimientos de entrenamiento semana próxima	-----	(R.P)
✓	Lista de acciones por garantias	-----	(gecolsa)

Una vez se han coordinado las tareas de la semana el Superintendente de ejecución y el Planner se reúnen con el fin de validar las actividades establecidas en la reunión citada anteriormente. Luego, el Planner emite el plan semanal y lo divulga a todos los involucrados en el proceso de mantenimiento de equipos pesados y a todos los contratistas que dan soporte al mantenimiento. Este plan se inicia el miércoles y finaliza el martes de la siguiente semana.

Planeación a largo plazo. La planeación a largo plazo analiza todos los componentes mayores de los equipos y se encarga de preparar el cambio de esos componentes. Cada equipo para Overhaul tiene su propia carpeta, la cual contiene la siguiente información: plan detallado del cambio, órdenes impresas, hojas de ruta, repuestos, impresiones del SIS, técnicos asignados y tiempo de ejecución.

En la planeación a largo plazo se hace la planeación de todos los Overhaul de los componentes mayores y de la reposición de la ubicación técnica de acuerdo a las horas de operación y de reparación, los repuestos en almacén y las horas de los componentes menores (figura 47).

Figura 47. Proceso de Overhaul.



7.2.2 Fase hacer. Es la fase dentro del Proceso de Mantenimiento Mina que se desarrolla entre la Fase Planear y la Fase Verificar. La fase Hacer recibe la planeación semanal, mensual, trimestral, semestral y anual proveniente de la Fase Planear, ejecuta las tareas planeadas y programadas para entregar al cliente los equipos disponibles, confiables y mantenibles. Debe entregar las órdenes de trabajo notificadas para que sean ingresadas al sistema GSAP y los reportes generados por el sistema de control MINESTAR para la Fase Verificar.

La Fase Hacer se relaciona directamente con la planeación que se realiza tanto a corto como a largo plazo, puesto que estas son sus entradas al proceso y es la encargada de desarrollar los trabajos de mantenimiento del equipo pesado de minería y de soporte (diagrama 9). En esta Fase intervienen directamente los técnicos de mantenimiento bajo la dirección del Supervisor de turno.

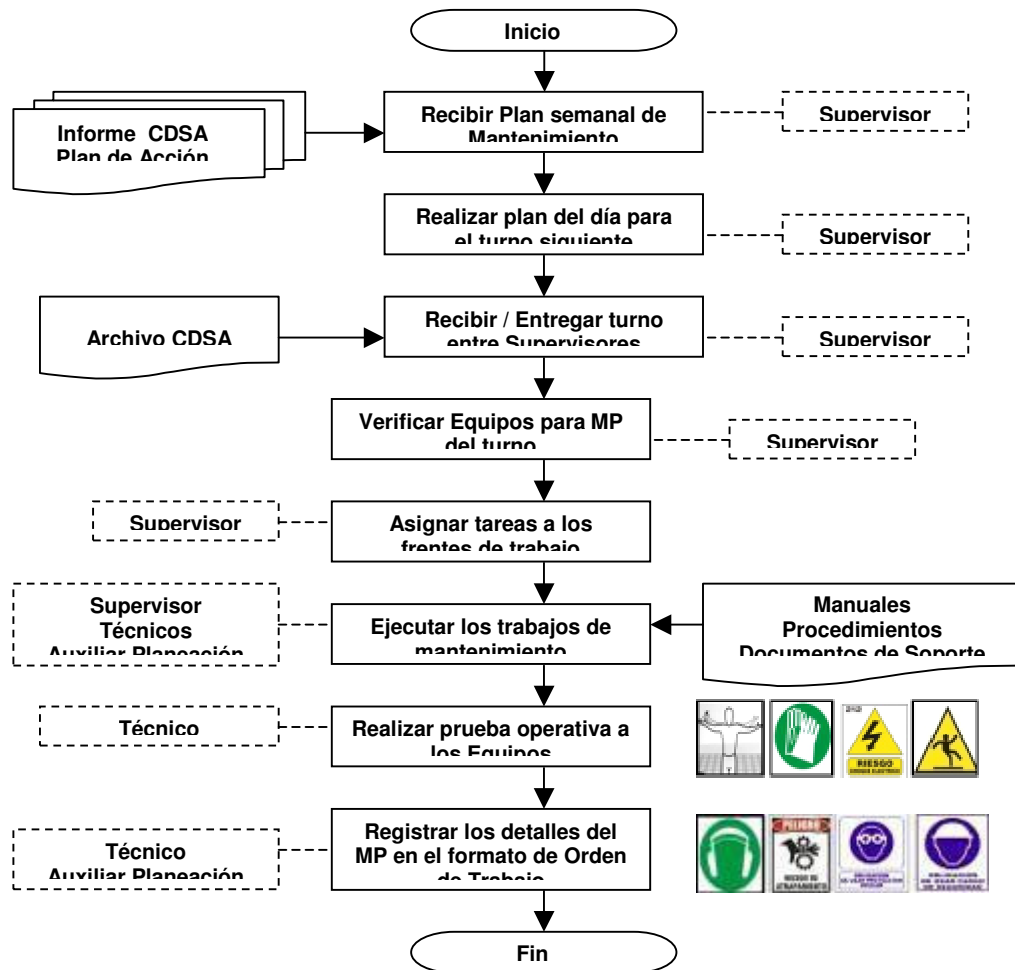
Una vez emitida la ventana semanal de mantenimiento, los supervisores son los encargados de verificar con Operación Mina los equipos programados para Mantenimiento en turno de día y tarde.

El equipo entra al taller y se le asigna el grupo de técnicos aplicados al mantenimiento, se distribuyen los otros técnicos a los diferentes frentes que en su momento se estén realizando en el taller.

Se dispone para el mantenimiento de nueve técnicos por cada grupo o turno. La ejecución del mantenimiento preventivo se hace con cuatro técnicos (electricista, mecánico, lubricador y soldador).

Los contratistas realizan otras actividades de mantenimiento como: Arreglos de Cabina, revisión sistemas contra incendio, mantenimiento a radios de comunicaciones y sistema Mine Star e inspección estructural. Todo este personal es coordinado por el facilitador de la parada de mantenimiento.

Diagrama 9. Operación de la Fase Hacer.

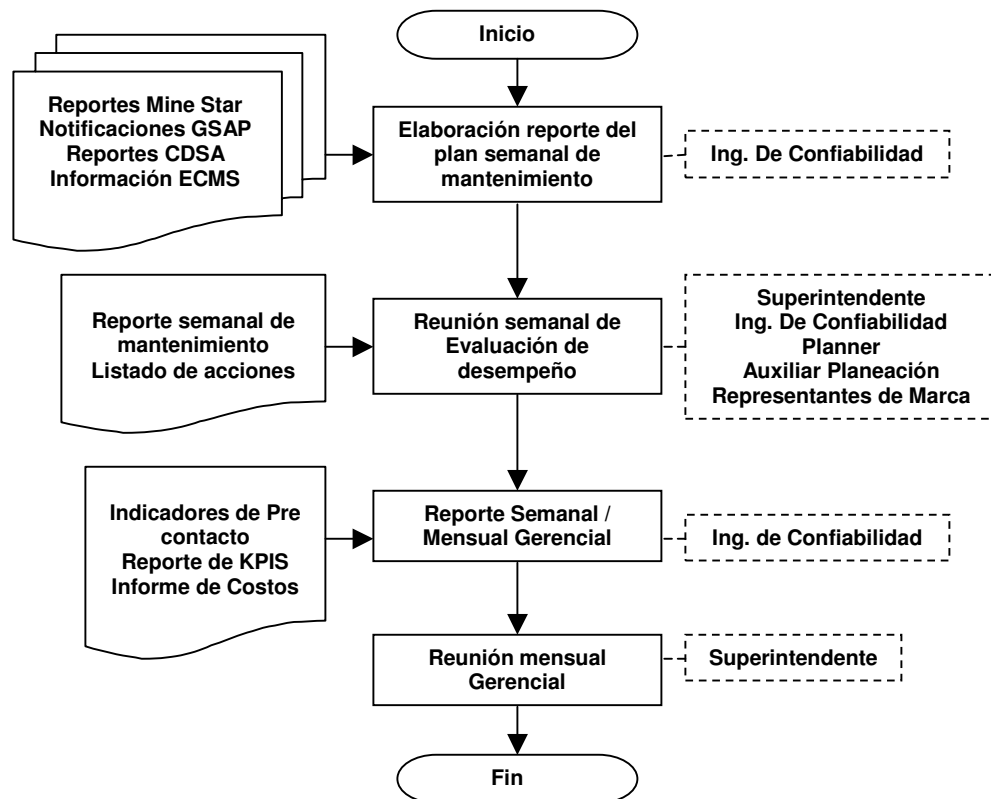


En esta Fase se realiza la identificación de los riesgos a los que se exponen los trabajadores que desarrollan las tareas de mantenimiento, por eso antes de iniciar la ejecución se realiza el contacto de seguridad y se asegura de tener a la mano la información técnica (manuales, procedimientos y documentos de soporte técnico) necesaria para cada una de las tareas.

Los técnicos diligencian cada uno de los formatos de las tareas ejecutadas (órdenes de trabajo). Estas órdenes de trabajo son revisadas y firmadas por el supervisor, luego son entregadas a los auxiliares de planeación para su notificación y cierre técnico (cuando así lo indique el supervisor), en el sistema GSAP. El supervisor verifica los LOG de Parada y los cruza con la información de la base o cuarto de Control. De esta información salen los reportes de Mine Star, que son la entrada para la Fase Verificar.

7.2.3 Fase verificar. Es la Fase dentro del proceso de Mantenimiento Mina que se desarrolla entre la Fase Hacer y la Fase actuar. La fase verificar realiza la evaluación de desempeño y la retroalimentación del Plan Semanal de Mantenimiento, para lo cual utiliza como entradas principales las notificaciones de GSAP y los reportes de Mine Star; de esta Fase sale el plan de acción para la Fase Actuar (diagrama 10).

Diagrama 10. Operación de la Fase Verificar.



Se realiza una reunión donde se hace la evaluación de desempeño, en ella participan el Superintendente, el Planner, el Auxiliar de planeación, el Ingeniero de Confiabilidad y los Ingenieros representantes de marca (contratistas). El fin de esta reunión es hacer la retroalimentación de la semana anterior para tomar acciones correctivas y preventivas. El desarrollo de esta reunión se basa en la siguiente agenda:

- Contacto de seguridad
- Análisis de disponibilidad de Palas / Perforadoras y equipos CAT; teniendo en cuenta: disponibilidad real, análisis de fallas, paretos de causas de paradas y revisión de acciones pendientes.
- Análisis de planeación: indicadores de resultados e indicadores de proceso.


El primer miércoles de cada mes se revisa el reporte mensual. Los documentos utilizados en esta son: reporte semanal Ingeniero de Confiabilidad, listado de acciones planeación semanal y plan de PM. La agenda de esta reunión se muestra en la figura 48.

Figura 48. Agenda para evaluar ventana semanal.

MTTO MINA
Agenda para EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SEMANA DE PLANEACIÓN

Cerro Matoso

LUGAR: OFICINA SUPERINTENDENTE DE MTTO.
FECHA Y HORA: MIERCOLES 3:30 P.M.
ASISTENTES: SUPERINTENDENTE, PLANER , ING DE MTTO , CONTI
TIEMPO: 1:30 H




Agenda .

1. **Contacto de Seguridad** ----- 5'
2. **Análisis de Disponibilidad Palas/ Perforadoras y Equipos CAT.** --- 60'
 - ✓ Disponibilidad real.
 - ✓ Análisis de falla.
 - ✓ Paretos de causas de parada.
 - ✓ Revisión de Acciones pendientes.
3. **ANALISIS DE PLANEACION.** ----- 20'
 - ✓ Indicadores de Resultados
 - ✓ Indicadores de proceso

Nota : El primer miércoles de cada mes se revisa el reporte mensual

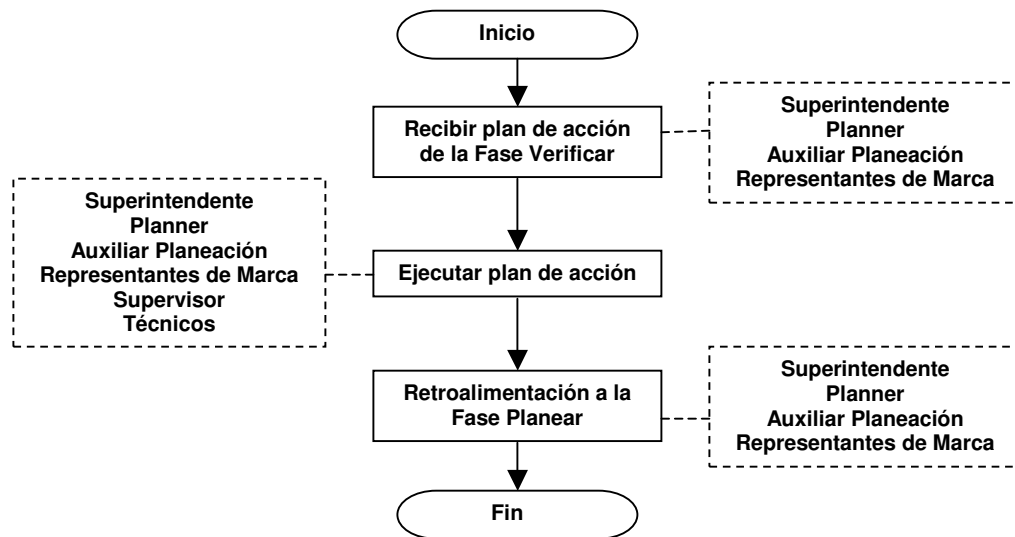
DOCUMENTOS NECESARIOS:

- ✓ Reporte Semanal Ing de Mtto.
- ✓ Listado de acciones Planeacion Semanal.
- ✓ Plan de PM



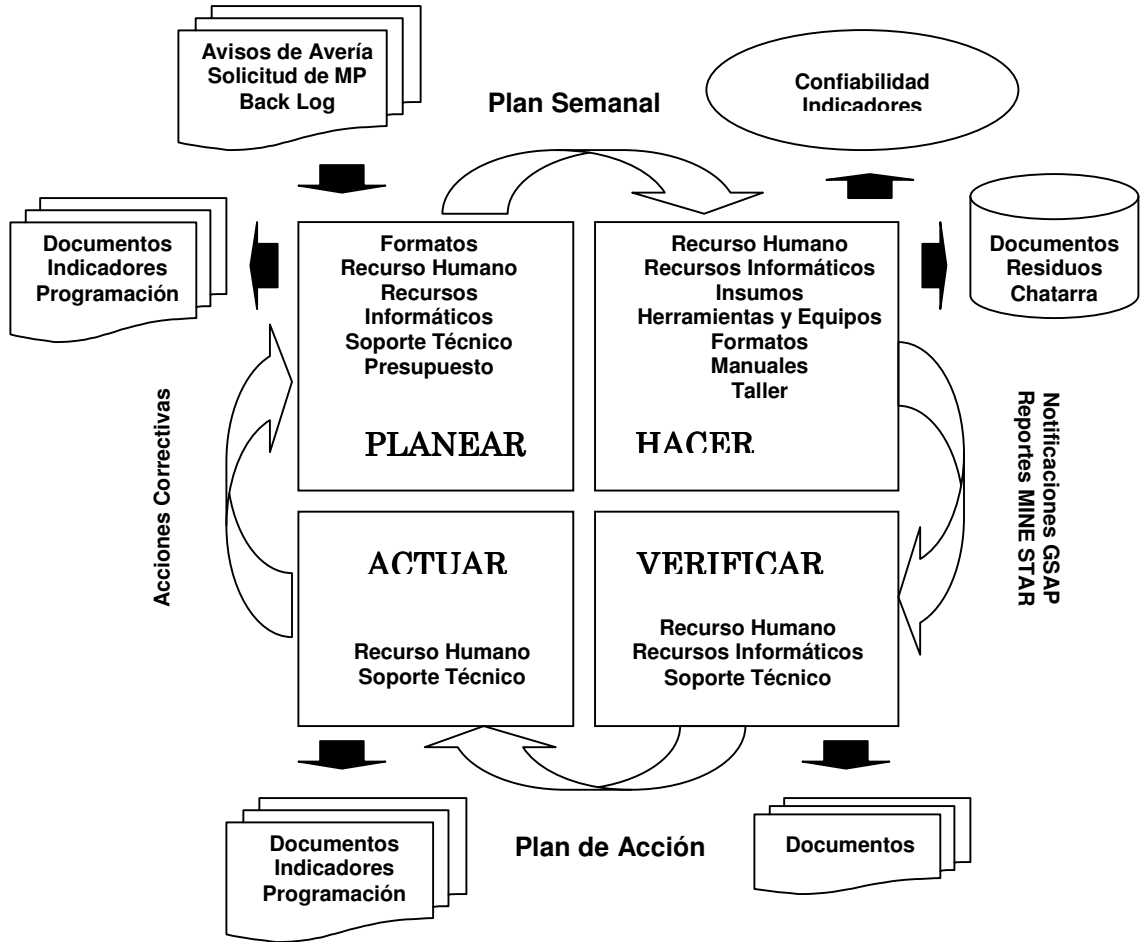
7.2.4 Fase actuar (asegurar). Es la fase dentro del proceso de Mantenimiento Mina que se desarrolla entre la fase Verificar y retorna como un complemento a la fase Planear según el ciclo de mejoramiento continuo. La Fase Actuar recibe como flujo de entrada principal, el plan de acción proveniente de la fase Verificar, donde se realizan las acciones correctivas sobre el plan de acción (diagrama 11).

Diagrama 11. Operación de la Fase Actuar.



Cuando se recibe el plan de acción de la Fase Verificar, cada uno de los responsables ejecuta dicho plan y las acciones correctivas realizadas ingresan como complemento a la fase Planear, realizando así el ciclo de mejoramiento continuo – PHVA (diagrama 12).

Diagrama 12. Funcional de Bloques del Proceso de Mantenimiento



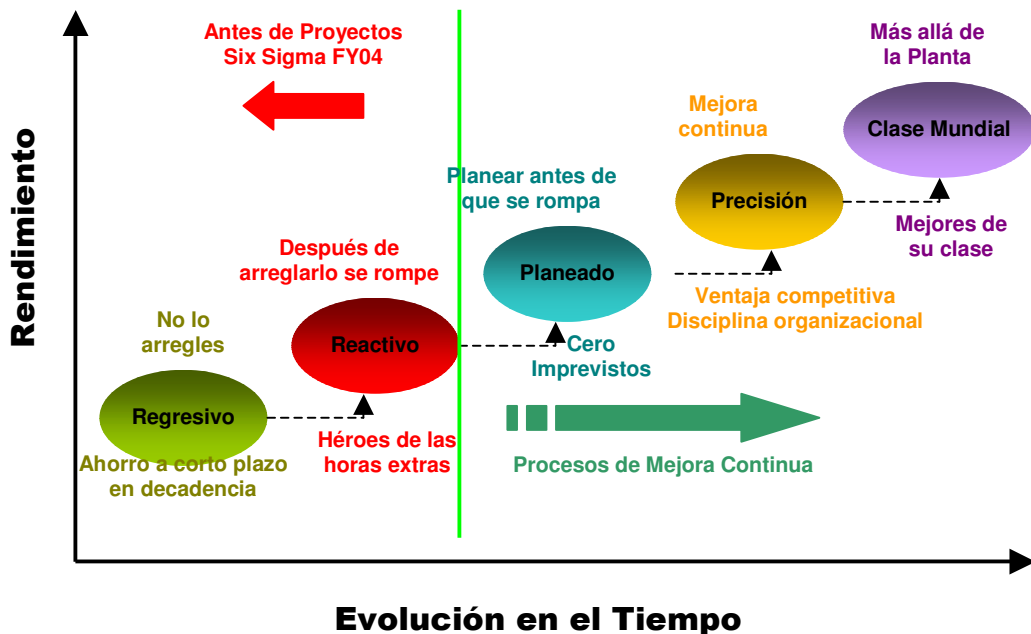
8. ANÁLISIS SITUACIONAL

Se desarrolla el siguiente análisis situacional para comprender mejor cuál es la problemática actual de la compañía y la formulación correspondiente para avanzar en el proceso de mejoramiento continuo como parte de la política de calidad y desarrollo sostenible de Cerro Matoso.

Cerro Matoso S.A. - CMSA, como empresa del grupo BHP Billiton, comparte las políticas de mejoramiento continuo del grupo y para ello, es apoyada por la Red de Mantenimiento (Global Maintenance Network – GMN). De acuerdo con esto, se ha trazado un horizonte en el cual la compañía debe evolucionar para lograr tener categoría de clase mundial, asegurando una serie de procesos en los cuales interviene principalmente la planeación, ejecución y el compromiso organizacional.

Actualmente CMSA ejecuta proyectos de mejora bajo la metodología Six Sigma que le permitirán evolucionar en el tiempo para obtener mejor rendimiento de sus procesos y optimización de recursos (figura 49).

Figura 49. Etapas de mejoramiento en función del tiempo.

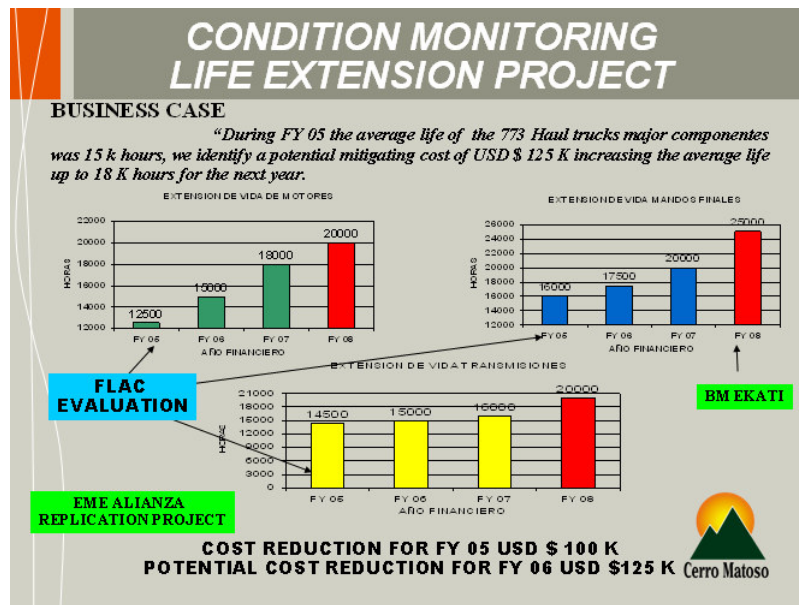


Una acción rápida y eficaz tomada por Cerro Matoso fue la ejecución de proyectos Six Sigma de gran impacto que le dieron un gran impulso al Sistema de Gestión de Mantenimiento y lo alinearon hacia el objetivo de clase mundial. Se mencionan a continuación algunos de estos proyectos:

8.1 PROYECTO SIX SIGMA “EXTENSIÓN DE VIDA DE COMPONENTES”.

Durante el año financiero FY05 el promedio de vida de los componentes mayores de los camiones CAT 773 fue de 15.000 horas, se identificó una potencial mitigación de costos por valor de USD \$ 125.000, incrementando el promedio de vida por encima de 18.000 horas en el próximo año financiero. La estrategia era implementar mejores prácticas de lubricación y control de la contaminación en los componentes, monitoreado por medio del análisis de aceite (figura 50).

Figura 50. Postal del Proyecto Six Sigma “Monitoreo por Condición”.

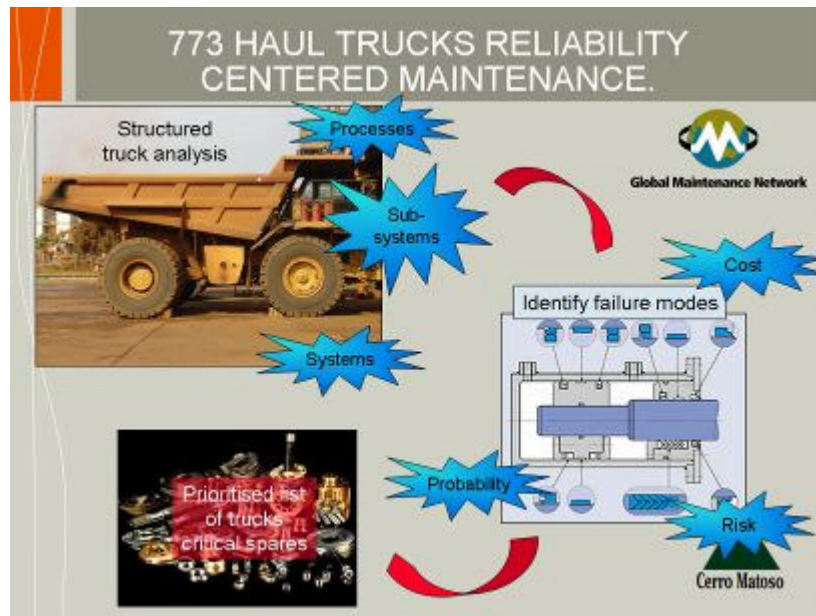


Cortesía: Cerro Matoso S.A.

8.2 RCM CAMIONES CAT 773”.

Este proyecto buscaba mejorar las rutas de mantenimiento preventivo estandarizando las paradas de mantenimiento en cinco horas y la optimización de las frecuencias obteniendo un incremento en los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de la flota de camiones CAT 773, los cuales son identificados como equipo crítico de la operación minera. Con este proyecto se obtuvo un ahorro importante en los costos de mantenimiento (figura 51).

Figura 51. Postal del Proyecto de RCM Camiones CAT 773”.



Cortesía: Cerro Matoso S.A.

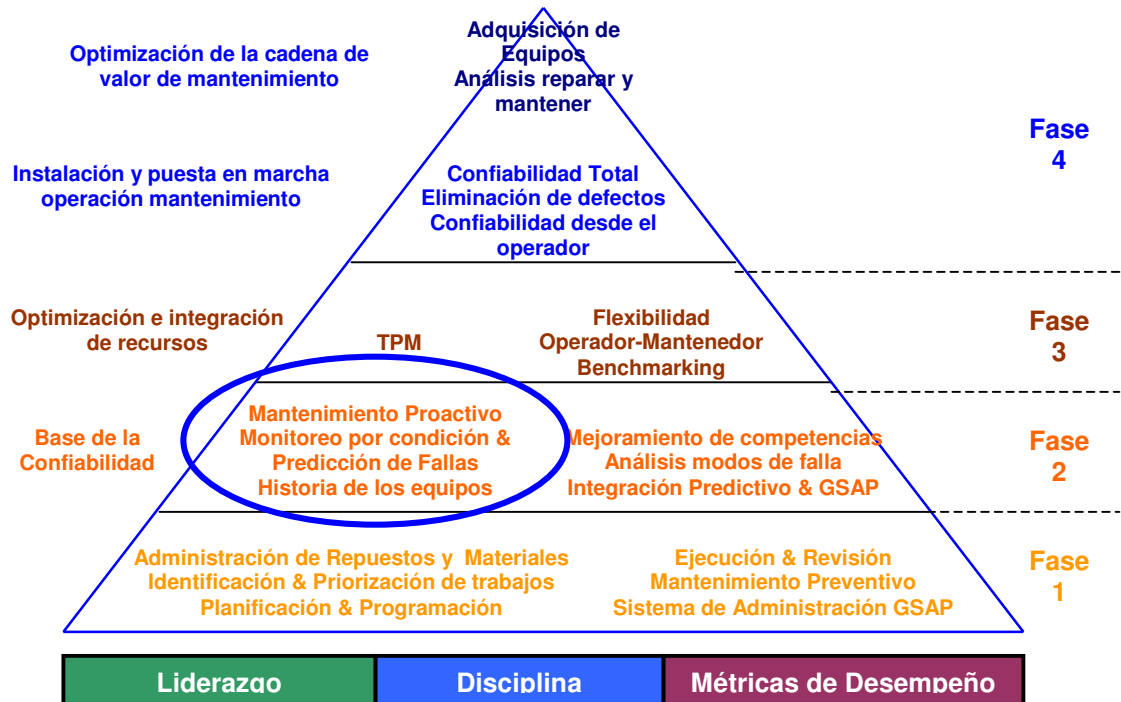
8.3 CULTURA ORGANIZACIONAL DE MANTENIMIENTO.

Es importante destacar la labor de cada uno de los empleados de CMSA para alcanzar las metas propuestas por la organización, teniendo en cuenta el nivel de competencias y el aspecto social. En el presente CMSA intenta evolucionar de una etapa básica de administración a un segundo nivel dentro de la pirámide de evolución del mantenimiento de clase mundial.

Esta segunda fase, contiene todos los elementos necesarios para lograr la confiabilidad operativa de los equipos mineros y utiliza elementos como el mantenimiento proactivo, monitoreo por condición, predicción de fallas, mejoramiento de competencias e integración del sistema maestro de información GSAP con otros sistemas que tienen que ver con técnicas predictivas.

Es requisito fundamental, el análisis de modo de falla FMEA ya que es el punto de partida para establecer un sistema de confiabilidad el cual esté plenamente documentado y sea retroalimentado sistemáticamente en el tiempo. Este proceso depende directamente del potencial de competencias que intervienen en las funciones del sistema de gestión y los aspectos motivacionales para alcanzar un nivel alto en la escala de mejoramiento continuo (figura 52).

Figura 52. Pirámide de Evolución del Mantenimiento de Clase Mundial.



8.4 PROCESO DE GESTIÓN DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO.

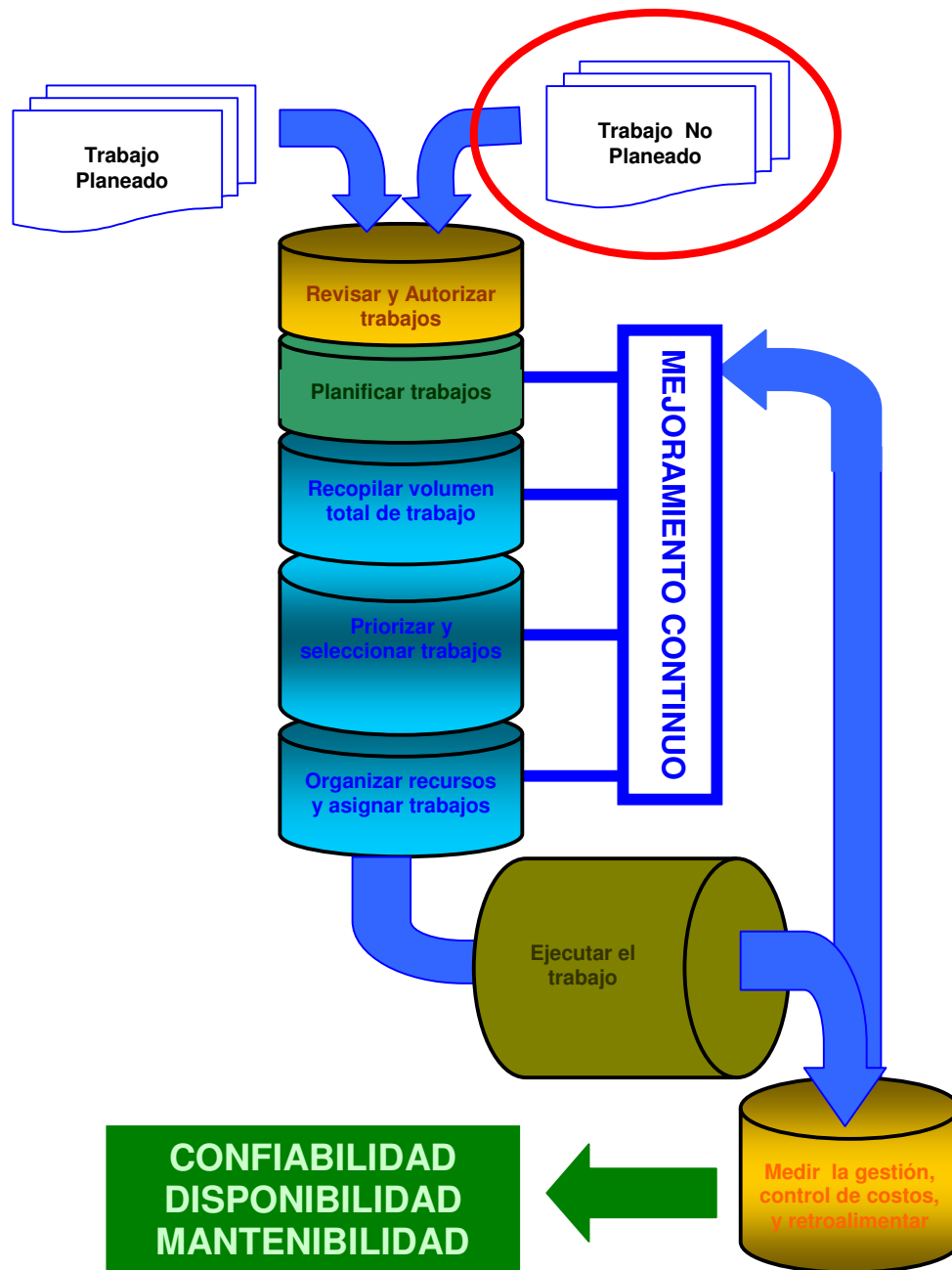
El sistema de gestión de mantenimiento, se comporta como un proceso de flujo continuo en el cual las entradas corresponden a los trabajos planificados y no planificados. Son estos últimos los que generan pérdidas y bajo rendimiento. La gestión del mantenimiento en el taller ha venido evolucionando hacia un mantenimiento preventivo, correctivo planeado y el uso de algunas herramientas del predictivo.

A pesar del mejoramiento que se ha realizado, se sigue presentando un alto porcentaje de correctivo no planeado (50%) lo cual genera alto costo en el mantenimiento y baja confiabilidad en los equipos.

La gran oportunidad se encuentra en minimizar estos correctivos no planeados y convertirlos en correctivos planeados, utilizando el sistema de gestión de mantenimiento proactivo que se propone, optimizando el recurso humano, económico.

Una vez se libere la restricción que producen los imprevistos, el sistema de gestión hará que el flujo de sus variables produzca niveles óptimos de confiabilidad, disponibilidad, optimización de costos, satisfacción del cliente y seguridad (figura 53).

Figura 53. Proceso de Gestión de Trabajos de Mantenimiento.



8.5 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.

En septiembre del 2007, CMSA contrató una Consultoría externa, para realizar una evaluación del Sistema de Gestión de Mantenimiento en todas las unidades de negocio con el objetivo de tener una radiografía del estado del mantenimiento para proceder a realizar un plan de alineamiento acorde con las políticas de mantenimiento trazadas por el grupo BHPBilliton, e internamente procurar que todas las unidades realicen el mantenimiento bajo las mismas directrices (figura 54). La evaluación arrojó las siguientes oportunidades de mejoramiento:

- Gestión de Inventarios.

 - No existen políticas de revisión de inventarios.

 - No hay reuniones con el personal de inventarios.

 - No se garantiza el nivel de inventarios sin la revisión de mantenimiento.

 - No es confiable el valor del inventario en el GSAP con respecto al físico.

 - No hay separación entre reparados y nuevos.

 - No se analizan las fallas, intervenciones y consumos.

- Gestión de Herramientas.

 - No existe catálogo de herramientas.

 - No registran herramientas en el CMMS.

 - La reposición de herramientas es lenta.

- Documentación y registro de fallas.

 - No existe un procedimiento para codificar, clasificar y describir los eventos.

 - No existe catálogo de fallas.

 - No se documentan adecuadamente las órdenes de trabajo.

 - No está establecido un período de revisión de datos técnicos.

 - No se producen informes con las fallas sobresalientes.

- Definición de los procesos de mantenimiento.

 - No se determina como medir la eficacia de cada proceso.

 - No se mide la satisfacción del cliente.

- Análisis de Fallas.

 - No se comunican las estrategias planteadas luego del análisis de fallas.

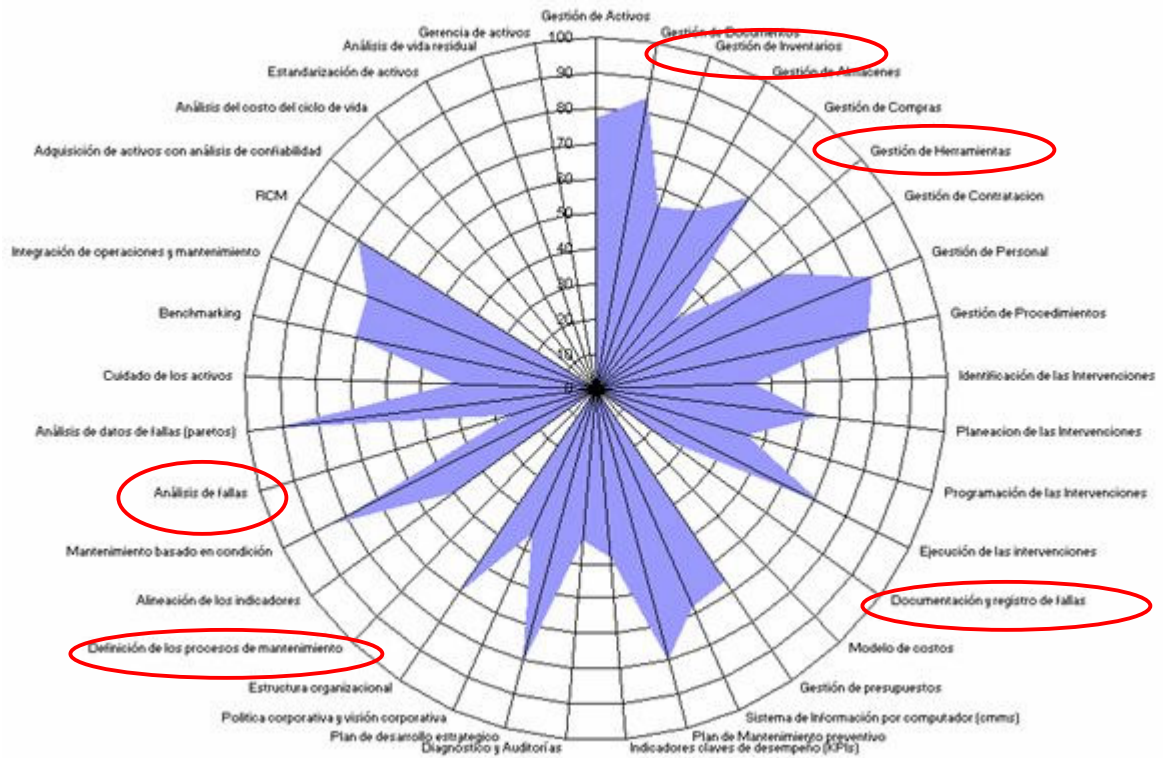
 - No actualizan el sistema con los resultados de los análisis.

 - Falta seleccionar un método de análisis de fallas.

 - No se analizan tendencias, ocurrencia y repetitividad de los eventos.

 - No se comunican los hallazgos de los análisis.

Figura 54. Gráfica Radar “Evaluación del sistema de gestión de mantenimiento”.



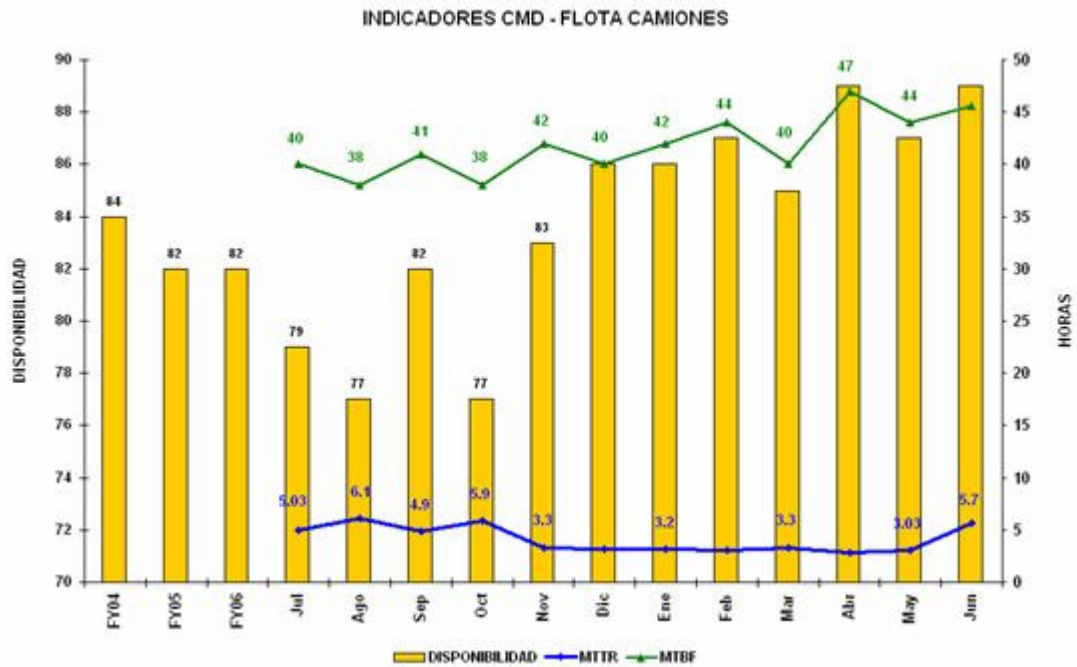
Cortesía: Cerro Matoso S.A.

8.6 ANÁLISIS DE INDICADORES CMD.

Actualmente en el taller de mantenimiento mina se llevan los siguientes indicadores: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (figura 55).

- **Confiabilidad (MTBF):** es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. La confiabilidad para camiones de acarreo está entre 60 y 80 horas después de haber salido de la parada de mantenimiento (Estándar CAT), en Cerro Matoso en este momento está en 40 horas promedio.
- **Mantenibilidad (MTTR):** la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos. Es una función del diseño del equipo teniendo en cuenta factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico. El estándar de reparación mundial para minería está entre 3-6 horas en promedio. En Cerro Matoso esta en 5 horas.

Figura 55. Análisis de Indicadores CMD.



Fuente: Gestión de Indicadores – GSAP CMSA.

- Disponibilidad:** es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. En Cerro Matoso la disponibilidad requerida para la flota de camiones es del 84%, con este valor se logra cumplir el plan de movimiento de estéril y mineral. En la actualidad la disponibilidad es de 84%.

9. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA

Considerando los anteriores antecedentes para formular una propuesta de mejora que aporte valor, el paso a seguir en el proceso de mejoramiento continuo hacia la excelencia y clase mundial de gestión de mantenimiento en CMSA, es proponer un sistema de gestión de mantenimiento proactivo que ayude a la optimización de los activos y a reducir las fallas imprevistas de los equipos críticos dentro del proceso de producción.

Este sistema de gestión debe integrar técnicas como el monitoreo por condición, aplicación de técnicas de medición y análisis predictivo de vibraciones, termografías, ultrasonido, aceites usados, etc., que nos ayudan en la planeación de las actividades proactivas necesarias antes que ocurra la falla no planeada de un componente, que conlleva a la ineficiencia por pérdidas en el proceso.

9.1 CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Un Sistema de Gestión es una estructura para la gestión organizada de las políticas, los procedimientos y procesos de una organización. Un Sistema de Gestión ayuda a lograr los objetivos de la Organización mediante una serie de estrategias, que incluyen la optimización de procesos. El uso de un sistema de gestión permite renovar constantemente sus objetivos, sus estrategias, sus operaciones y niveles de servicio.

La razón de ser del mantenimiento no es otra cosa que la confiabilidad de operación de los equipos de producción con una alta mantenibilidad; es decir, se debe evitar las fallas imprevistas en los equipos y a la vez hacer que las operaciones de mantenimiento se efectúen en tiempos óptimos y a costos razonables.

La retroalimentación es un mecanismo mediante el cual se enriquece la gestión desde el punto de vista de resultados, gracias a ello sabemos si existe o no, una oportunidad de ajustar la gestión para poder alcanzar el objetivo propuesto. Evidentemente esto implica disponer de un sistema confiable de medición y para ello es importante definir cómo hacerlo, el sistema informático ayuda mucho en este aspecto.

El sistema de gestión de mantenimiento proactivo que se propone para el taller de mantenimiento mina de Cerro Matoso abarca un concepto más amplio desde el punto de vista de la proactividad.

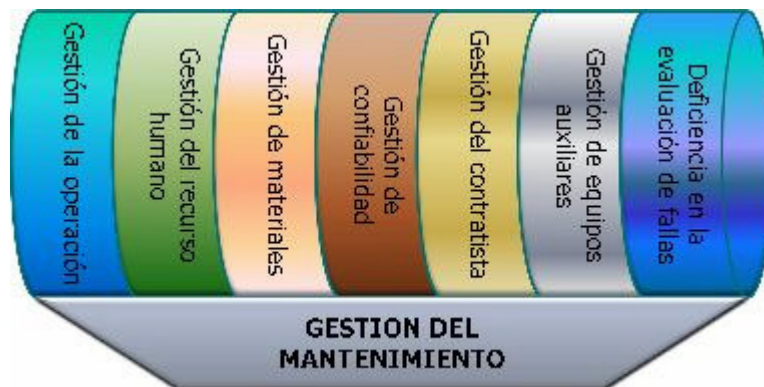
Muchos textos o autores enfocan el concepto de mantenimiento proactivo a la solución de fallas y a evitar su recurrencia. El concepto de proactividad debe ir mas allá de evitar la recurrencia de una falla.

La gestión del mantenimiento es afectada por otros factores tales como como:

- Malas prácticas en la operación de los equipos
- Vías y frentes de trabajo en mal estado
- Falta de repuestos
- Repuestos mal almacenados
- Componentes mal reparados
- Flexibilidad en el recurso humano
- Ausencia de análisis de fallas o deficiencia en la evaluación de fallas
- Equipos auxiliares de soporte al mantenimiento no confiable
- Gestión del contratista interno y externo
- Gestión de confiabilidad

Estos aspectos fuera de control limitan, restringen y no dejan evolucionar la gestión de mantenimiento (figura 56).

Figura 56. Factores que afectan la gestión del mantenimiento.



El sistema que se propone requiere de un mantenimiento preventivo, un mantenimiento correctivo planeado, un mantenimiento predictivo, una buena gestión del departamento de materiales, una gestión por parte del área de operación mina, una gestión de los contratista de soporte interno y externo, de una gestión de soporte del área de entrenamiento, buena confiabilidad de los equipos auxiliares de soporte al mantenimiento y de una gestión de confiabilidad.

La Figura 57 nos ilustra el crecimiento de la gestión de mantenimiento una vez controlados los siete factores que impactan en el mantenimiento.

Figura 57. Factores que contribuyen al crecimiento del mantenimiento.



El taller de mantenimiento mina tiene un sistema de gestión de mantenimiento preventivo sistemáticamente controlado y asegurado, fue mejorado aplicando la metodología RCM donde se optimizaron las rutas y las frecuencias de mantenimiento, donde se estandarizaron los mantenimientos preventivos a 5 horas. La descripción del proceso de Gestión del Mantenimiento Preventivo se mostró en la figura 51.

El mantenimiento correctivo no está en gran parte bajo control, por esta razón se presentan muchas fallas imprevistas que afectan la productividad de la operación.

Del Mantenimiento Predictivo, actualmente en el taller se realizan las siguientes tareas: análisis de aceites e inspecciones estructurales (tintas penetrantes).

El proceso de mantenimiento posee debilidades en:

- Mantenimiento predictivo
- Gestión de materiales
- Gestión de la operación en el acompañamiento de las tareas de mantenimiento en campo
- Gestión del contratista interno y externo
- Mantenimiento de los equipos auxiliares de soporte
- Gestión de entrenamiento
- Gestión de confiabilidad y Evaluación de fallas.

9.2 SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO

Se propone un sistema que tenga en cuenta todos los factores antes mencionados que influyen en la gestión del mantenimiento.

En la figura 58 se muestra el sistema de gestión de mantenimiento proactivo que se propone, con todas sus fases y factores que afectan la gestión del mantenimiento. Se observa las fases de planear, ejecutar, confiabilidad, operación, y mejoramiento, con los factores que se deben asegurar para garantizar una buena gestión proactiva del mantenimiento.

Figura 58. Sistema de Gestión de Mantenimiento Proactivo.



9.2.1 Fases Gestión Planear y Ejecutar. Las fases planear y ejecutar fueron explicadas en el capítulo 7 (diagramas 8 y 9), y son fases que están en control. En este capítulo se hará énfasis en las otras fases y factores donde se tienen debilidades y no están siendo consideradas en el proceso que se tiene actualmente de mantenimiento, capítulo 8 (figura 51).

Gestión de Materiales. En la fase de planeación se propone asignar una persona del área de mantenimiento con conocimiento de repuestos, para monitorear físicamente y en el sistema los niveles de inventario de ítem críticos y los componentes reparables.

Esta persona a la vez debe manejar el proceso de reparables en el sistema y coordinar el mantenimiento de los componentes y el control del buen almacenaje de los repuestos en la bodega.

Materiales debe asignar una persona para ejecutar las tareas de inspección y movimientos de componentes mayores y repuestos dentro de la bodega. El objetivo es que esta persona se convierta en un soporte de inventario para el taller y Materiales.

Se propone crear un plan de mantenimiento para los componentes almacenados (componentes mayores y reparables) y a la vez revisar los componentes reparados cuando llegan a la planta, con esto estamos asegurando la calidad de las reparaciones.

El analista de inventario de stock se debe involucrar en las reuniones de planeación con el fin de enterarse de primera mano de las necesidades de repuestos en el área.

Gestión de Capacitación y Entrenamiento. En cuanto al entrenamiento se propone fortalecer los siguientes aspectos:

Cada habilidad debe tener un manual con su tabla de contenido, material de estudio, unidades desarrolladas, ejercicios y evaluación por unidad. Como base se puede tomar la bibliografía Caterpillar y material de soporte como tutoriales interactivos.

Se debe crear un plan de formación teórico práctico para los técnicos que estén cursando una habilidad del plan de desarrollo.

Se recomienda hacer un convenio con Gecolsa (representante de Caterpillar en Colombia) quienes tienen un programa de entrenamiento estructurado para la formación de sus técnicos.

Los estudiantes SENA deben tener un plan de entrenamiento estandarizado para los seis meses de su práctica, el cual debe hacerse de acuerdo a las necesidades de la empresa. Este plan debe estar detallado mes a mes de tal forma que garantice que el estudiante al finalizar su pasantía quede con una visión y unas habilidades óptimas para desempeñarse en la industria minera.

Plan de entrenamiento para el estudiante Técnico SENA

- **Introducción**

- Inducción en las políticas de: seguridad, ambiente, salud ocupacional, visión, misión de la compañía, visión y misión del mantenimiento
- Inducción específica del taller
- Inducción del proceso de explotación minera

- **Entrenamiento básico de equipo CAT.** Este entrenamiento lo realiza con el técnico líder de PM, sus objetivos y logros son:

- Estar en capacidad de conocer las diferentes flotas de equipos CAT.
- Conocer los sistemas, funcionamiento y componentes de los equipos, tipos de aceites y sus características, tipos de mantenimiento, como se realiza un mantenimiento.
- Manejar GSAP
- Manejo de manuales, catálogos, planos y el sistema de información de Caterpillar (SIS).
- Manejo del ET
- Interpretar de la información de los módulos electrónicos.
- Calibrar presiones y profundidad de las llantas.

Plan de entrenamiento para el Ingeniero de Mantenimiento (graduado o en práctica):

- **Inducción básica.** Tiempo estimado: una semana

- Inducción en las políticas de: seguridad, ambiente, salud ocupacional, visión, misión de la compañía, visión y misión del mantenimiento.
- Inducción específica del taller.
- Inducción del proceso de explotación minera.

- **Entrenamiento en el proceso de planeación:** Tiempo: 15 días

Al terminar este periodo el entrenado debe entender y lograr:

- Cómo funciona el flujo grama de planeación en Mantenimiento Mina.
- Debe saber planear una orden y programarla.
- Conocer el plan mayor y plan menor de los equipos.
- Conocer la dinámica de las reuniones de planeación.
- Control de repuestos y reparables en bodega y proveedores externos.
- Interactuar con todas las personas que participan en la planeación de mantenimiento.
- Conocer como se hace un plan de overhaul.
- **Entrenamiento con el auxiliar de planeación:** Tiempo: 8 días
Al terminar esta etapa el entrenado debe saber:
 - Que es un aviso y como se hace.
 - Como se hace una orden de trabajo.
 - Como se notifica una orden de trabajo.
 - Hacer una ruta de mantenimiento.
 - Como se hace un plan de mantenimiento.
 - Actualizar un componente en el sistema.
- **Entrenamiento en el área de confiabilidad:** Tiempo: 20 días
Al terminar esta etapa debe estar en capacidad de:
 - Buscar la información en el sistema GSAP.
 - Organizarla la información hacer los paretos de fallas.
 - Interpretar la información graficada.
 - Liderar las reuniones de evaluación de desempeño.
 - Buscar e interpretar los indicadores en GSAP.
 - Hacer la evaluación de Post-PM.

- **Entrenamiento en supervisión:** Tiempo: 8 días

Al terminar esta etapa el entrenado debe estar en capacidad de:

- Conocer los diferentes tipos de flotas.
- Conocer e interactuar con los técnicos de los diferentes grupos.
- Arrancar un turno de trabajo.
- Manejar el día-día (desarrollo de las tareas del taller).
- Conocer los sistemas y componentes básicos de un equipo CAT.
- Manejar el trabajo bajo presión.
- Entender la operación minera y sus prioridades.

- **Entrenamiento en herramientas de mejoramiento:** Tiempo: 10 días

Al terminar esta etapa el entrenado estará capacitado para organizar y liderar reuniones de mejoramiento y solución de problemas.

Conocerá herramientas como Six Sigma y RCA.

- **Trabajo específico que se le asigne.**

Actualización y elaboración de procedimientos de tareas críticas.

Participar en las paradas de planta.

Gestión del Contratista. El contratista de soporte al mantenimiento debe comunicar las innovaciones tecnológicas de los equipos a las cuales ellos representan, presentando y explicando los detalles de las mismas. Así mismo coordinará la implementación de los mismos.

El contratista hará seguimiento a los repuestos de alta rotación que se usan en la flota bajo su cargo, y de esta manera asegurará el stock mínimo en la bodega.

Debe hacer seguimiento a los componentes reparables y órdenes de compra que tengan que ver con los equipos bajo su responsabilidad.

En coordinación con el Planner hará el plan de overhaul anual de la flota que representa.

El contratista debe participar en los RCA y FMEA cuando se requiera su aporte en la solución de problemas en la flota que representan, esto debido a que tienen el conocimiento y la experiencia.

9.2.2 Fase Gestión de Confiabilidad. La fase de confiabilidad debe estar conformada por tres subfases cuya gestión deberán estar a cargo de las siguientes funciones:

- Ingeniero de confiabilidad
- Ingeniero de mantenimiento
- Técnico certificado
- Grupo de análisis

Ingeniero de Confiabilidad.

- Estar capacitado y tener formación en las teorías de confiabilidad, lidera el grupo, hace el plan de trabajo y reporta al gerente de mantenimiento.
- Liderar los análisis RCA, FMEA y recomienda las acciones para solución de problemas puntuales o fallas repetitivas.
- Ser el responsable de determinar la curva P-F de los componentes y de esta forma anticipar las fallas de los mismos.
- Sugerir cambios o mejoramientos en los procesos de mantenimiento.
- Ser un input para el proceso de planeación.
- Detectar las desviaciones de los indicadores de resultados.

- Dar recomendaciones a la ejecución en la parte técnica.
- Debe analizar los paretos de fallas y presentarla al grupo de planeación, ejecución y operación.
- Liderar y presentar la reunión de evaluación de desempeño.

Ingeniero de Mantenimiento (titulado o en práctica).

- Recopilar la información de GSAP, organizarla, hacer los paretos de fallas y preparar las presentaciones para las reuniones de evaluación de desempeño.
- Participar en las reuniones de evaluación y es el facilitador de las reuniones.
- En ausencia del ingeniero de confiabilidad debe hacer la reunión de evaluación de desempeño.

Técnico Certificado.

- Conocer los sistemas y equipos de la unidad.
- Estar entrenado en análisis de fallas y participar en las evaluaciones de problemas repetitivos y puntuales.
- Ser soporte para los técnicos nuevos.
- Dedicar tiempo a la parada de mantenimiento como facilitador, formador, orientador y controlador de las tareas del PM (evaluaciones, cambio de componentes menores, información de los módulos electrónicos).
- Participar en las reuniones de planeación y evaluación de desempeño. El rol de este técnico es el LINK entre planeación-ejecución-confiabilidad.

Las siguientes son proyecciones del cargo:

- Tener conocimiento básico en herramientas o metodologías de mejoramiento por ejemplo: Six Sigma, RCA, FMEA.
- En mantenimiento mina se le debe asignar una oficina con su computador, y los programas del SIS, TAM, CTS y GSAP.

Grupo de análisis: Se conforma con los siguientes cargos:

- Ingeniero de confiabilidad
- Supervisor
- Planner
- Técnico facilitador de la parada de mantenimiento
- Ingeniero de soporte de la firma contratista representante de marca
- Superintendente de ejecución

Las funciones de este grupo se mencionan a continuación:

- Analizar y proponer soluciones a problemas puntuales y recurrentes que se presenten de la rutina diaria, cuyos efectos impactan la productividad del proceso.
- Procesar y analizar la información proveniente del mantenimiento preventivo, reportes del ET, TAM, CTS, Tintas penetrantes, vibraciones, termografías y ultrasonido.
- Generar tendencias y alarmas, evaluar consumo de combustible, revisar indicadores y establecer acciones; estas deben tener seguimiento para cerrar el ciclo.
- Mostrar los indicadores de costos en la unidad, la flota más costosa de mantener y cual esta excedida en los mismos, reportar el equipo que causa mayor impacto y sugerir acciones al respecto.

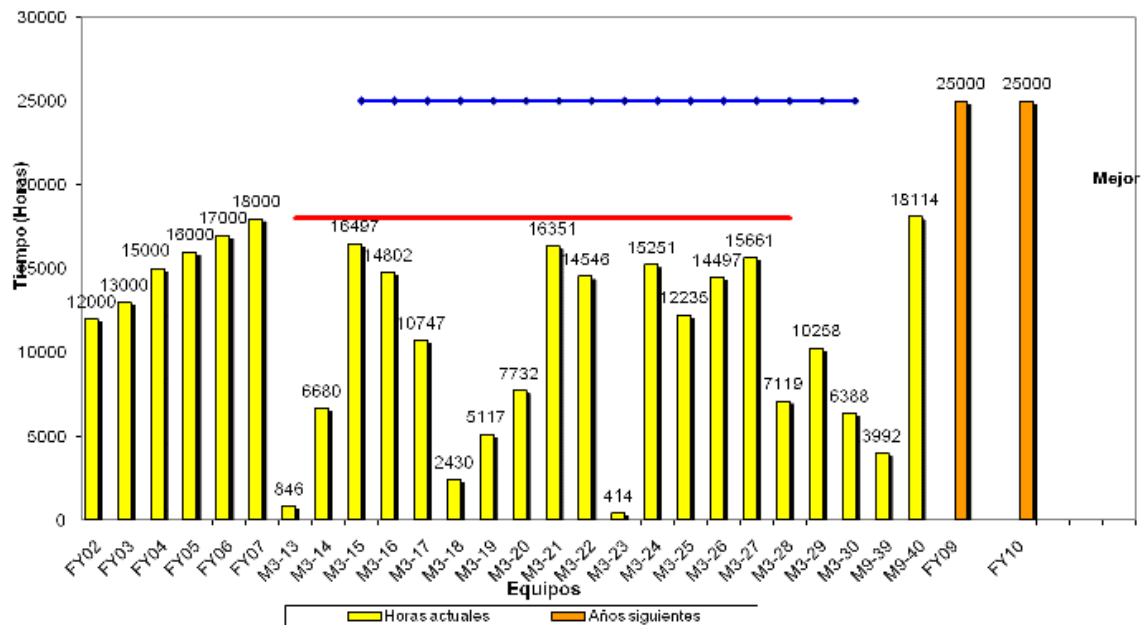
9.2.3 Fase Gestión de la Operación. En esta fase se propone involucrar a los supervisores de operación y operadores con el objetivo de asimilar el cuidado de los equipos como parte de la producción; un equipo bien operado, con buena rutina de pre-uso, se traduce en buena disponibilidad, mas toneladas movidas, horas hombre de los mecánicos disponibles para atender las fallas planeadas, es decir un proceso más confiable y rentable. La operación puede aportar mucho a la conservación de los equipos, mejorando los frentes de cargue, las vías y los botaderos donde el terreno esté en mal estado. Es decir un frente y unas vías en mal estado no solo atenta contra el equipo sino que afecta el plan de producción de la misma operación.

Otro aspecto importante en la operación es contar con operadores entrenados y capacitados, en interpretar las alarmas y fallas de primer nivel, informándole a tiempo a mantenimiento de una forma clara y precisa de la condición presentada, esto es de gran ayuda para el proceso. Esto se traduce en un MTTR menor y un aumento en la disponibilidad. Los operadores en turno pueden convertirse en colaboradores del técnico que va a revisar o a evaluar una falla, de esta forma el operador ayuda a mantener su equipo y a la vez va conociendo la maquina.

10. ANÁLISIS FINANCIERO

La evolución del comportamiento de los motores en cuanto a las horas de operación para su reparación en los últimos 6 años financieros se muestra en la figura 59.

Figura 59. Comportamiento y proyección de los motores.



En el FY02 los motores se reparaban a las 12.000 horas por recomendación del fabricante, y normalmente fallaban alrededor de esas horas.

En el año financiero FY03 los motores se llevaron a 13.000 horas de operación. Se introdujo el concepto de FLAC, es decir control de la contaminación en el aire, combustible, lubricante y refrigerante. Esta directriz fue impulsada por GMN (Red Global de Mantenimiento BHPBilliton).

En el año financiero FY04 en adelante se aplica una herramienta de mejoramiento SIX- SIGMA y se realiza un proyecto de mejoramiento al proceso de planeación del mantenimiento preventivo bajo esta metodología.

El resultado de este proyecto fue un cambio conceptual de la forma de realizar el mantenimiento preventivo. Se creó un sistema de gestión de mantenimiento preventivo estructurado y organizado. Se optimizaron las rutas de mantenimiento aplicando RCM. Esta etapa estuvo acompañada de un entrenamiento y capacitación a los técnicos y supervisores del taller.

Como resultado de lo anterior los motores lograron llegar a las 18.000 horas en promedio. Con el sistema de mantenimiento proactivo que se propone, la meta es llevar los motores a 25.000 horas de operación. Esta meta se logra poniendo en práctica todo lo esbozado en los capítulos anteriores.

En la figura 57 se muestran las horas de los motores de los camiones en el año financiero actual (FY08-FY09), se puede observar que para este año, utilizando el tope de 18.000 horas, tocaría reparar ocho motores.

Llevando los motores a 25.000 horas el ahorro sería el siguiente:

EQUIPO	HORAS DE MOTORES	COSTO DE REPARACIÓN
M3-15	18.000	120.000.000
M3-21	18.000	120.000.000
M3-24	18.000	120.000.000
M3-27	18.000	120.000.000
M9-40	18.000	120.000.000
M3-26	18.000	120.000.000
M3-16	18.000	120.000.000
M3-22	18.000	120.000.000
TOTAL AHORRO		\$960.000.000

Estos motores se repararían en el año financiero FY10 generando un ahorro para la compañía de \$960.000.000. Un análisis similar se haría para el resto de componentes, transmisiones, convertidores y mandos finales:

EN PROMEDIO AL AÑO SE CAMBIAN 4 TRANSMISIONES.

EQUIPO	HORAS DE CAMBIO EN TRANSMISIONES	HORAS PROPUESTA	COSTO DE REPARACION
M3-21	17.000	20.000	60.000.000
M3-24	17.000	20.000	60.000.000
M3-30	17.000	20.000	60.000.000
M9-40	17.000	20.000	60.000.000
TOTAL			\$240.000.000

Mandos finales para este año se cambiarían a los siguientes camiones:

EQUIPO	HORAS DE CAMBIO	MANDO FINAL	HORAS PROPUESTA	COSTO DE REPARACION
M3-16	18.000	Derecho	25.000	60.000.000
M3-16	18.000	Izquierdo	25.000	60.000.000
M3-21	16.500	Derecho	25.000	60.000.000
M9-40	17.000	Derecho	25.000	60.000.000
M9-40	17.000	Izquierdo	25.000	60.000.000
TOTAL				\$300.000.000

Llevando los componentes (Motores, transmisiones y mandos finales) a las horas que se proponen y aplicando un mantenimiento proactivo el ahorro que se obtendría en el año financiero es de \$1500.000.000.

Si esto se extrapola al resto de las flotas como tractores, cargadores, perforadoras, motoniveladoras, palas, y considerando el comportamiento operativo de cada flota, el ahorro sería mucho mayor. Hay que tener en cuenta que el incremento de horas de operación del tren de potencia de estos otros equipos debe ser menor por el régimen de operación de ellos, pero igual es un incremento en horas de operación importante que se puede obtener.

11. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

- Presentar el proyecto al gerente y superintendente de mantenimiento. La idea es mostrar el estado actual del mantenimiento y luego el estado futuro con la propuesta.
- Mostar el beneficio económico que se obtendría con la propuesta
- Una vez aceptada la propuesta, la implementación se arranca como un proyecto de mejoramiento.
- Armar el equipo de trabajo.
- Reunión de sensibilización con los supervisores y técnicos para vender el proyecto.
- Reunión con los operadores y supervisores de operación.
- Reunión con la gente de materiales
- Reunión con los contratista de soporte internos y externos
- Actualizar el proceso de mantenimiento de acuerdo a los nuevos cambios
- Clarificar roles y responsabilidades
- Etapa del manejo del cambio con técnicos y operadores
- Entrenamiento a operadores y supervisores de la operación
- Desarrollo del proyecto
- Control y seguimiento
- Si la empresa decide implementar este sistema (el que se está proponiendo), se puede utilizar una herramienta como Six Sixma para manejo del cambio, medir y controlar el avance de la implementación.

CONCLUSIONES

En el área de mantenimiento mina de CMSA, existe una gran oportunidad de mejoramiento que impactaría positivamente los costos del mantenimiento, reflejándose esto en los costos unitarios de producción de la empresa.

Como se explica en el desarrollo de la monografía, implementando el sistema de gestión de mantenimiento proactivo se optimiza la gestión del mantenimiento aumentando la confiabilidad y la disponibilidad, que afectan positivamente el presupuesto del mantenimiento.

La monografía se enfoca en los siguientes aspectos claves para soportar los objetivos propuestos:

1. Estructurar el plan de desarrollo para los técnicos, haciendo énfasis en los programas y contenido de cada habilidad, así como el sistema de evaluación; teniendo en cuenta que la debilidad más importante que se puede presentar en la implementación de este sistema de gestión es la cultura de la organización.

Se propone un plan de entrenamiento detallado para los Ingenieros en Práctica, técnicos Sena, de tal forma que en tres meses estas personas adquieran las habilidades para desempeñarse y se conviertan en un recurso valioso para la organización. Ver Sección 8.3 y 9.2.1

2. Se realizó una evaluación al sistema de gestión de mantenimiento preventivo encontrándose oportunidades de mejoramiento como son la implementación de las técnicas del mantenimiento predictivo, como la termografía, vibraciones, ultrasonido, análisis y evaluación de la información de los módulos electrónicos de los componentes del tren de potencia (motor y transmisión) y aplicación de los diferentes modos de gestión del mantenimiento. Ver capítulo 2 y sección 8.5.
3. Se propuso un sistema de gestión del mantenimiento donde se involucra todos los factores que tienen que ver, influyen o intervienen, en la planificación, ejecución, gestión de materiales, gestión de la operación, gestión del contratista, gestión de confiabilidad. Ver sección 9.2.
4. Estadísticamente se encontró que la presencia de contaminantes como la tierra y el agua que se produce por condensación dentro de los componentes, produce desgaste acelerado y la reducción de vida útil de los elementos. Ver sección 5.2.

5. Aplicando el sistema de gestión y las recomendaciones que se dan en esta monografía podemos garantizar la extensión de vida de los componentes del tren de potencia. Ver sección 9.1
6. Los componentes del tren de potencia, que actualmente tienen una vida promedio de operación de 18.000 horas en el caso de los motores, se podría extender a 25.000 horas. De igual forma transmisiones, convertidores, mandos finales y diferencial se podrían llevar hasta ese límite dando como resultado un ahorro importante en los costos del mantenimiento. Ver sección 8.7 y capítulo 10.
7. El sistema de Gestión propuesto puede adaptarse a cualquier tipo de planta y proceso, solo hay que tener en cuenta las particularidades de cada empresa o área.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR LEÓN, German Stephan. Vibraciones Mecánicas. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

ALBARRACÍN AGUILON, Pedro. Análisis de Aceites. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

BOTERO BOTERO, Ernesto. Mantenimiento Preventivo. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

BRITISH STANDARD INSTITUTE. Reliability of Systems, Equipments and Components. Part 5. Guide to failure modes, effects and criticality analysis (FMEA and FMECA). BS 5760-5:1991. First Edition, 1991.

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de Especialización. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario IV: Evaluación de la Investigación. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

ICONTEC. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1486. Cuarta actualización.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Condition Monitoring and diagnostics of machines – General Guidelines. Norma Técnica ISO 17359:2003. Primera Edición. 2003.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Condition Monitoring and diagnostics of machines – Vocabulary. Norma Técnica ISO 13372:2004. Primera Edición. 2004.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Condition Monitoring and diagnostics of machines – Prognostics. Norma Técnica ISO 13381-1:2004. Primera Edición. 2004.

MARTÍNEZ, William. Termografía. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios: Enfoque Sistemático Kantiano. Editorial AMG. Envigado, 2007.

TROYER, Drew, FITCH, Jim. Oil Analysis Basics en Español. Noria Corporation. México. 2004.

.