

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



**ESTUDIO DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD
ACORDE AL SISTEMA ASSET MANAGEMENT APLICADO A LA
FLOTA DE BULLDOZER CAT D10T, MINERA ANGLO AMERICAN
OPERACIÓN MANTOVERDE**

Informe de Habilitación Profesional
presentado en conformidad a los requisitos
para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico
Profesor Guía:

Sr. JUAN CARLOS FIGUEROA BARRA

ALEXANDER JARA CÁRDENAS
CONCEPCION – CHILE

2014

SUMARIO

En este trabajo de habilitación profesional se desarrolló un tema en base a la flota de Bulldozer CAT D10T, esta flota debido a una gran cantidad de imprevistos versus mantenciones programadas tiene una confiabilidad relativamente baja, lo que se traduce en aumento del costo de mantención por la mayor cantidad de imprevistos. Este análisis lleva a desarrollar un estudio para determinar la razón del escenario mencionado, estudio en el cual se desarrollara mediante la base de datos de la flota.

El estudio de confiabilidad se basó principalmente en diagramas de Pareto y Jackknife. Primero se procedió a realizar Paretos para cada equipo teniendo resultados muy parecidos entre equipos, donde el motor aparece como el sistema más crónico de la flota. Después del análisis primario de Pareto se procede a realizar un análisis por subsistemas del motor para determinar la falla que afecta más la confiabilidad, estos diagramas dieron como resultado principalmente el motor como falla crónica y como subsistema el filtro de aire del motor, lo cual afecta directamente a la confiabilidad de la flota.

Luego de realizar los análisis de Pareto, corroborando la información se procede a realizar los diagramas de Jackknife para la flota completa, tanto en sistemas como en el motor.

El paso siguiente fue realizar un análisis de modos y efectos de falla determinando así un método para solucionar el problema el cual tiene como resultado implementar una mantención preventiva a la falla, principalmente esta falla ocurre por condiciones del medio donde opera la máquina lo cual no se puede mejorar de una forma razonable.

Luego de realizar el análisis de modos y efectos de falla se opta por realizar un análisis de Weibull el cual permitirá implementar un mantenimiento preventivo al filtro en un determinado tiempo en base a la confiabilidad que opte la compañía.

Finalmente mediante el análisis anterior se obtienen los resultados para elaborar el plan de mantención a seguir, el cual consiste en realizar un cambio del filtro de aire cada 125 horas, lo que implica el doble de cambios programados al año, estrategia que mejora notablemente la confiabilidad del filtro.

Estos nuevos cambios serán realizados a medida que el equipo baje al taller ya sea por mantenciones programadas de componentes mayores o por mantenciones imprevistas.

En promedio el equipo baja al taller unas 5 veces entre mantenciones programadas las cuales son cada 250 (Mantenciones donde se cambia el filtro de aire programado y otros componentes menores). Estas mantenciones imprevistas o programadas de componentes mayores serán aprovechadas para cambiar el filtro cada 125 horas aprovechando que el equipo está detenido, ahorrando tiempo y dinero.

Tabla de contenidos

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes Minera Manto Verde	3
2.1	Historia Anglo American en Chile	4
2.2	Descripción del Proceso.	5
2.2.1	Mina.	5
2.2.2	Planta.....	5
2.2.3	Chancado, Aglomeración y Lixiviación Heap.....	5
2.2.4	Lixiviación Dump	6
2.2.6	Diagrama general del proceso productivo	7
2.3	Estructura departamento de mantenimiento.....	8
2.3.1	Misión y visión de mantenimiento	8
2.3.2	Misión corporativa del mantenimiento	8
2.3.3	Visión corporativa del mantenimiento.....	8
2.3.4	Políticas de mantenimiento	9
2.3.5	Estrategia de mantenimiento	10
2.3.6	Gestión de mantenimiento.....	11
3.	Descripción del problema	12
4.	Objetivos	13
5.	Marco teórico	14
5.1	Asset management.....	14
5.2	Diagrama de Pareto	15
5.3	Distribución de Weibull.....	17
5.4	Método de los mínimos cuadrados	200
5.5	Indicadores de eficiencia en mantenimiento	211

5.5.1	Disponibilidad	211
5.5.2	Confiabilidad.....	211
5.5.3	Tiempo promedio entre fallas (MTBF).....	211
5.5.4	Tiempo promedio de reparación (MTTR).....	22
5.5.5	Tiempo entre fallas (TBF).....	222
6.	Método de Jack Knife	233
7.	Análisis de falla.....	255
7.1	Tipos de mantenciones	255
7.2	Aplicación diagramas de Pareto	27
7.2.1	Bulldozer 1001	27
7.2.2	Bulldozer 1002	311
7.2.3	Bulldozer 1003	344
7.2.4	Flota Bulldozer	37
8.	Método Jack Nife	422
8.1	Jack Knife según sistema	422
8.2	Jack Knife según falla	444
9.	Análisis funcional	47
10.	Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)	49
11.	Diagrama de Weibull	511
11.1	Análisis Weibull	522
11.2	Parámetros de la distribución Weibull.....	555
11.4	Curva de la bañera	56
11.3	Función de distribución acumulativa.....	59
11.5	Función confiabilidad a través del tiempo.....	600
12.	Mantenimiento preventiva.....	611
12.1	Mantenimiento preventiva.....	613

13.	Conclusión.....	64
14.	Sugerencias.....	65
15.	Bibliografía.....	66

Índice Figuras

Figura 2.2.6 Diagrama general del proceso productivo (Fuente: Anglo American Chile)	7
Figura 2.3.3 Organigrama Superintendencia Mantención Mina (Fuente: Anglo American Chile).8	
Figura 2.3.6 Gestión de mantención anual (Fuente: Anglo American Chile).....	11
Figura 5.2 Ejemplo diagrama de Pareto, (fuente: http://qualitasaagg.wordpress.com)	16
Figura 5.3 Ejemplo función confiabilidad y acumulativa (Fuente: www.confiabilidad.net)......	18
Figura 6 Ejemplo Diagrama de Jack Knife.	244
Figura 7.1 Imprevistos v/s Programadas Flota Bulldozer.	255
Figura 7.2.1.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas.....	28
Figura 7.2.1.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas.....	30
Figura 7.2.2.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas.....	322
Figura 7.2.2.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas.....	333
Figura 7.2.3.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas.	355
Figura 7.2.3.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas.....	366
Figura 7.2.4.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas flota.	38
Figura 7.2.4.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas flota.	40
Figura 8.1 Diagrama de Jack Knife según sistemas flota.	433
Figura 8.2 Diagrama de Jack Knife según fallas flota.	455
Figura 11.1 Ajuste de curva , determinación parámetros Weibull.....	54
Figura 11.4 Curva de la bañera según parámetro beta (fuente: mantenancela.blogspot.com).....	56
Figura 11.3 Función distribución acumulada de Weibull.	59
Figura 11.5 Función confiabilidad mediante Weibull.....	600
Figura 12 Mantenciones programadas v/s imprevistos filtro de aire	611
Figura 12.1 Estrategia de mantención	613

Índice Tablas

Tabla 7.2.1.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1001 por sistemas.	27
Tabla 7.2.1.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1001 por fallas.	29
Tabla 7.2.2.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1002 por sistemas.	31
Tabla 7.2.2.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1002 por fallas.	33
Tabla 7.2.3.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por sistemas.	34
Tabla 7.2.3.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por fallas.	36
Tabla 7.2.4.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por sistemas flota.	37
Tabla 7.2.4.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por fallas flota.	39
Tabla 8.1 Base de datos para diagrama de Jack Knife por sistemas flota.	42
Tabla 8.2 Base de datos para diagrama de Jack Knife por fallas flota.	44
Tabla 11.1.1 Base de datos para determinar parámetros de Weibull.	52
Tabla 11.1.2 Ajuste curva para determinación de parámetros Weibull.	54
Tabla 11.1.3 Parámetros de la distribución de Weibull.	55

Índice Anexos

ANEXOS.....	67
Base de datos fallas imprevistas Motor Enero- Diciembre 2013 FLOTA BULL.....	68
Procedimiento Desarrollo de Tácticas Mantención Asset Management.....	76

1. Introducción

El desarrollo de esta habilitación profesional se realizó en la minera Manto Verde propiedad de Anglo American, minera Sudafricana con presencia en los 5 continentes.

Esta minera consta de diversas áreas como, planta, mina y recursos humanos. Las cuales tienen subdivisiones como lo son el área de producción planta, extracción mina, mantención mina, mantención planta, operaciones mina, finanzas, reclutamiento.

El trabajo de esta habilitación profesional se desarrolló en el área de mantención mina, con apoyo del personal de mantención mina tanto de AngloAmerican como de empresas externas como Finning Chile.

El tema a abordar fue analizado en conjunto con asesores senior, supervisores y planificadores llegando a la conclusión de analizar la flota de Bulldozer CAT D10T debido a su gran cantidad de fallas no programadas, lo cual la clasifica como una flota con baja confiabilidad y baja disponibilidad, lo que se traduce directamente en altos costos de mantención, menor producción y menores ingresos para la empresa. En base a lo anterior se realizó un estudio de mantenimiento basado en la confiabilidad siguiendo los pasos mencionados en el sistema de gestión de Anglo American, Asset Managament el cual tiene 9 pilares fundamentales. Para este trabajo se usó principalmente el pilar de Procedimiento Desarrollo de Tácticas de mantención el cual fue propuesto por la vicepresidencia de ingeniería.

El desarrollo de este trabajo empieza con realizar un estudio de la base de datos de fallas imprevistas de la flota de Bulldozer la cual tuvo que ser clasificada por sistemas, como por ejemplo, sistema eléctrico, motor, sistema hidráulico, tren de potencia y otros. Luego de clasificar todas las fallas imprevistas en sus respectivos sistemas se procedió a clasificar los sistemas según su frecuencia de fallas para determinar cuál es el de mayor criticidad, para luego analizar el más crítico identificando sus tipos de fallas y frecuencias y así finalmente encontrar el problema más recurrente que provoca que la flota tenga una baja confiabilidad.

Luego de identificar el problema se procede a realizar un análisis estadístico que tendrá como objetivo lograr predecir cuándo ocurrirá una falla con un cierto grado de confiabilidad, así también permitirá implementar el mantenimiento preventivo de la falla a un cierto tiempo con un grado de confiabilidad aceptable para la compañía.

2. Antecedentes Minera Manto Verde

Se encuentra ubicada en la III Región, a 56 kilómetros de la ciudad de Chañaral y a 900 metros sobre el nivel del mar. Comprende una mina a rajo abierto, plantas de chancado e instalaciones para el procesamiento de minerales oxidados. En 2012 produjo 62.239 toneladas de cobre fino.

Mantoverde tiene una dotación aproximada de 800 trabajadores, entre personal propio y contratistas de operación y proyectos.

Su propietario es en la actualidad Anglo American empresa Sudafricana, uno de los grupos mineros más grandes del mundo. Posee Operaciones en África, Europa, Norte y Sudamérica, Australia y Asia.

Unidades de Negocio Anglo American:

- Mineral de hierro y manganeso
- Carbón metalúrgico
- Carbón térmico
- Cobre
- Níquel
- Platino
- Diamantes
- Otros activos mineros e industriales

2.1 Historia Anglo American en Chile

El Grupo Anglo American comenzó sus operaciones en Chile en 1980, adquiriendo 40% de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., la que explotaba el yacimiento del mismo nombre en la II Región. En 1984 se convirtió en el socio mayoritario de esta empresa.

Entre 1988 y 1992 se hizo efectiva la opción de compra por el yacimiento de Mantoverde, ubicado en la III Región, el cual pasó a formar parte de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.

En 1996, Anglo American adquirió 44% de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, cuyo yacimiento se encuentra en la I Región.

En 2000 aumentó a 99,97% su participación en la propiedad de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., hoy Anglo American Norte S.A.

En 2002, adquirió la Compañía Minera Disputada de Las Condes, hoy Anglo American Sur S.A. integrando a sus operaciones las divisiones El Soldado, Chagres y Los Bronces.

A partir de 2004, la empresa ha puesto en práctica importantes proyectos tales como el Desarrollo Los Bronces, la optimización de Chagres y el rajo extendido de El Soldado.

En 2007 se aprobó e inició la construcción del Proyecto Desarrollo Los Bronces el cual contempla una inversión de entre US\$2.300 y US\$2.400 millones y tiene como objetivo construir nuevas instalaciones de molienda, de transporte de mineral y de concentración para aumentar la capacidad de producción de la División a un promedio de 400.000 toneladas de cobre fino por año.

En 2009 se anunció el descubrimiento de dos importantes prospectos de cobre de alta calidad, San Enrique Monolito y Los Sulfatos. Ubicados cerca de Los Bronces, en conjunto poseen recursos inferidos que alcanzan a 2.100 millones de toneladas de mineral, lo que permitirá aumentar los recursos minerales de cobre de la compañía en un 50%.

2.2 Descripción del Proceso.

2.2.1 Mina.

La operación de la mina es a rajo abierto y su diseño está basado en bancos de 10 metros de altura en las fases de trabajo y 20 metros en las paredes finales, rampas interior mina de 10% de pendiente y caminos de 30 metros de ancho.

La actual operación considera la explotación de 5 rajos: Mantoverde Sur, Kuroki, Montecristo y Punto 62 superior e inferior. En el futuro cercano se planea la explotación de los rajos Celso y Laura en la medida que se va produciendo el agotamiento de los otros rajos. A la vez se está estudiando la explotación de sulfuros bajo los rajos actuales lo cual extenderá la vida útil de la mina hasta el 2035, proyecto en el cual se invertirá en una nueva flota de camiones y cargadores frontales, extensión del taller y una nueva planta para procesar los sulfuros, lo cual podría empezar a desarrollarse el 2015.

En la operación de la mina se utiliza tecnología convencional, basada en el uso de perforadoras montadas sobre orugas, cargadores frontales para la extracción y camiones para el traslado del mineral a planta, de los minerales marginales a stock y del material estéril a botaderos.

2.2.2 Planta.

La Planta de Beneficio del mineral se divide en las siguientes áreas principales: Chancado, Aglomeración, Lixiviación (Heap y Dump), Extracción por Solventes y Electro-Obtención.

2.2.3 Chancado, Aglomeración y Lixiviación Heap

El mineral proveniente de la mina (ROM) es enviado al circuito de reducción de tamaño y clasificación (chancado primario, secundario, terciario y planta de harnero). El producto es contactado con ácido sulfúrico concentrado y refino para formar mineral aglomerado, que es transportado a la etapa de lixiviación, mediante una serie de correas transportadoras y apilador radial, iniciando así el ciclo de riego mediante soluciones acidulada. Finalizado la etapa de lixiviación, el remanente o ripio es transportado a botadero, mediante el uso de un sistema compuesto por rotopala, correas transportadoras y apilador móvil.

2.2.4 Lixiviación Dump

El mineral dump es apilado a granulometría ROM, curado directamente sobre la pila mediante la adición de ácido sulfúrico concentrado y una solución ácida, finalizada la etapa de curado se inicia el ciclo de riego mediante soluciones aciduladas.

El drenaje rico en cobre, es transportado mediante canaletas y tuberías a las piscinas que alimentan la lixiviación heap y la extracción por solventes.

La solución rica (alta concentración de cobre), proveniente de lixiviación se envía a la planta de extracción por solventes, dónde se realiza la purificación líquido-líquido (solución rica-solución orgánica), obteniéndose una solución de sulfato de cobre libre de otras impurezas solubilizadas en la etapa de lixiviación (electrolito cargado).

El electrolito cargado de cobre es bombeado hacia la planta de electro-obtención, dónde por medio de la aplicación de corriente eléctrica continua a través del par ánodo / cátodo, se obtiene cobre metálico electro depositado y ácido sulfúrico que retorna al proceso de lixiviación.

2.2.6 Diagrama general del proceso productivo

A continuación se muestra el diagrama general del proceso productivo que se lleva en la Operación Mantoverde.

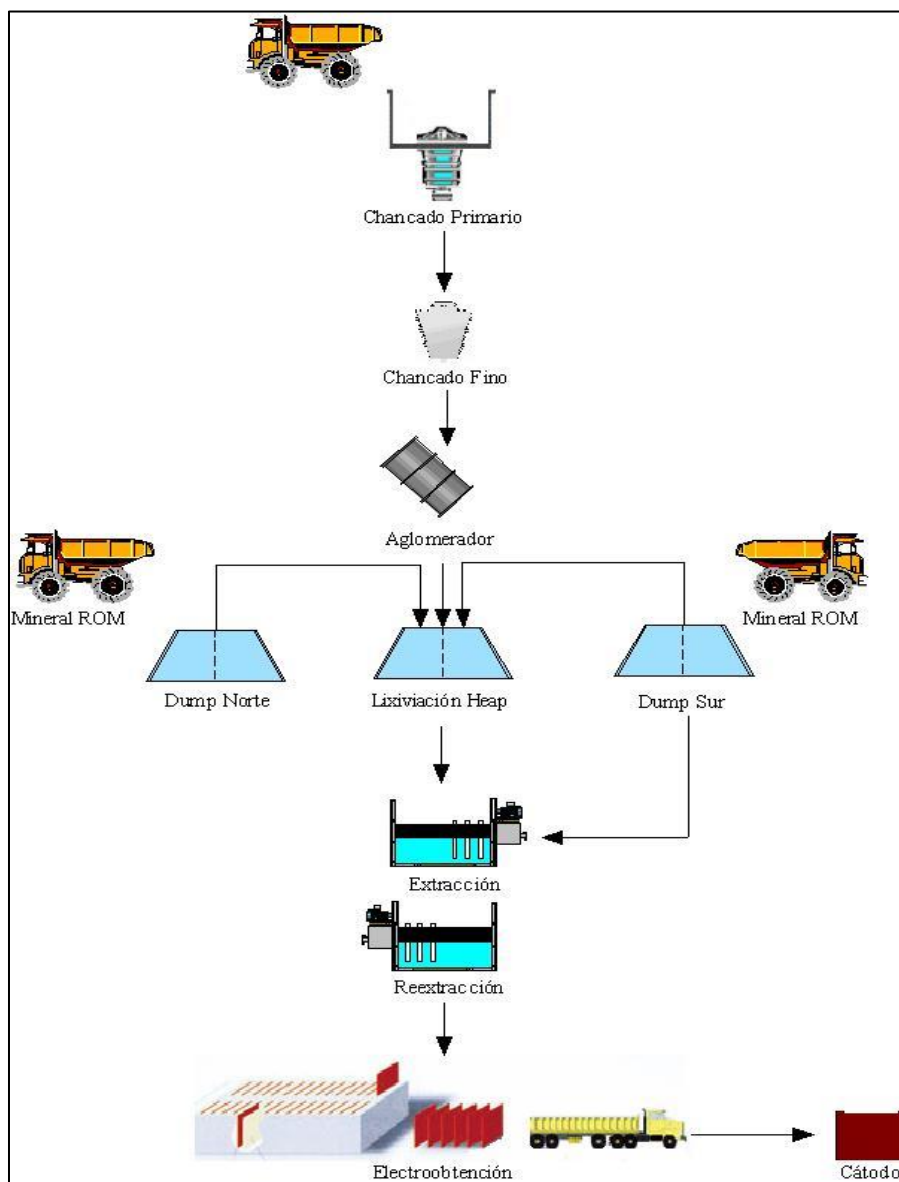


Figura 2.2.6 Diagrama general del proceso productivo (Fuente: Anglo American Chile)

2.3 Estructura departamento de mantención mina

2.3.1 Misión y visión de mantención

La Superintendencia de Mantención Mina en su constante proceso de mejora ha definido en su plan estratégico la siguiente misión y visión corporativa:

2.3.2 Misión corporativa del mantenimiento

Gestionar el mantenimiento y las mejoras de nuestros activos, otorgando los más altos niveles de seguridad, confiabilidad y rendimiento a los equipos e instalaciones, para cumplir con los planes de producción establecidos, a un costo competitivo.

2.3.3 Visión corporativa del mantenimiento

Ser líderes en el mantenimiento aplicando las mejores prácticas e innovaciones tecnológicas, para contribuir a que Anglo American Chile desarrolle el mejor y más respetado negocio minero del mundo.

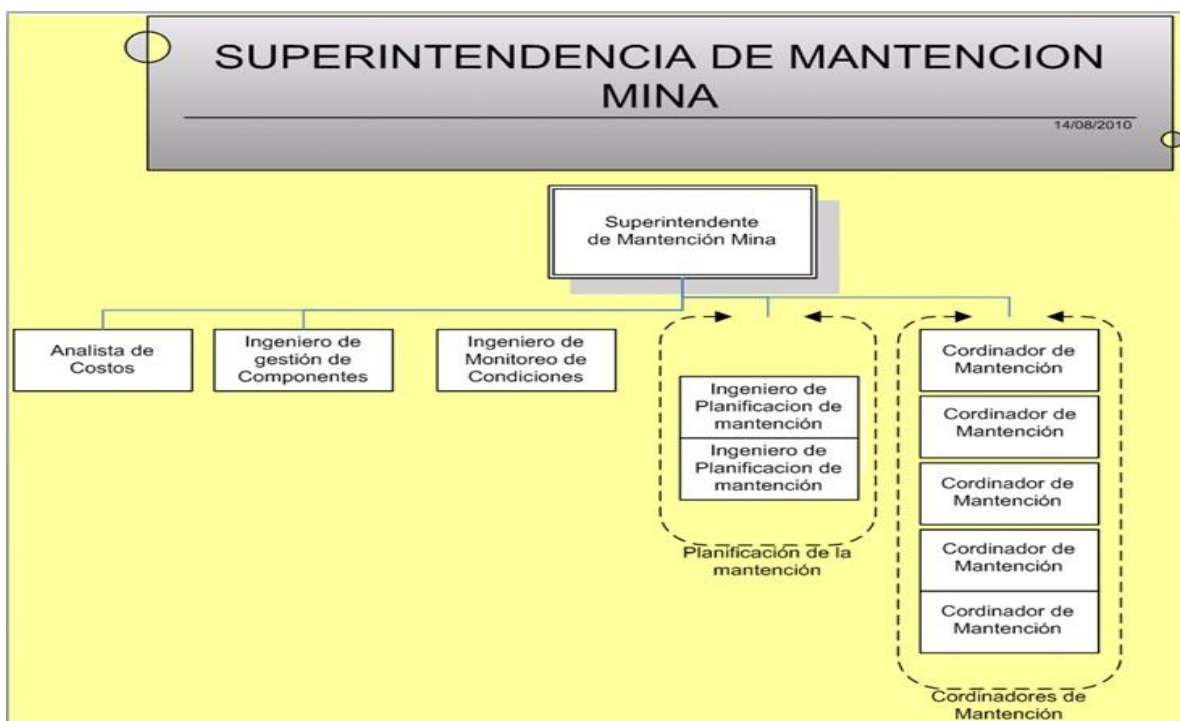


Figura 2.3.3 Organigrama Superintendencia Mantención Mina (Fuente: Anglo American Chile)

2.3.4 Políticas de mantención

Anglo American Chile, Operación Mantoverde, es una Empresa Minera que busca la excelencia en la producción de cobre y para lograr este objetivo, desarrolla sus actividades de mantención, considerando los siguientes compromisos:

El personal de mantención realiza su gestión, dentro de un marco ético, íntegro, de confianza y respeto al resto de la organización y sus terceros.

Elaborar un manual de mantención, del cual estas políticas son integrante, que determina todas las estrategias y actividades, que debe cumplir la gestión de mantención.

Crear un comité de mantención corporativo (CMC), el cual es liderado por el Asesor Senior de mantención e integrado por los representantes de mantención de las distintas Divisiones de la Compañía.

Asegurar que el liderazgo en seguridad y el comportamiento orientado al cuidado personal, son valores fundamentales en todas las Organizaciones de mantención.

Asegurar que el plan estratégico de mantención, sea preparado y actualizado cada año, consistente con los planes de mediano y largo plazo, de acuerdo a las necesidades del negocio y sus operaciones.

Asegurar la buena calidad, en la ejecución de las pautas de mantención y órdenes de trabajo, que es fundamental, para lograr los objetivos establecidos en las especialidades mecánica, eléctrica e instrumentación.

2.3.5 Estrategia de mantención

Objetivo

Maximizar la Confiabilidad de los equipos de la Operación, para sostener una operación continua que permita lograr las metas de Máxima Seguridad, Máxima Producción a los más Bajos Costos.

Áreas de enfoque y acción

- Competencias técnicas de personal propio y contratistas
- Utilización de ELLIPSE (Programación, planificación y control)
- Uso de indicadores y variables
- Mantención Predictiva y Monitoreo de Condiciones.
- Repuestos y equipos Stand by.
- Estándares de Servicios Contratados.
- Exploración de Mejores Prácticas y Mejoramiento Continuo.
- Productividad del personal propio y contratista.
- Confiabilidad de proveedores y fabricantes de equipos.
- Análisis de Falla.

Metas

Seguridad

- Cero Accidente Con Tiempo Perdido.
- Cero Accidente Ambiental Nivel 2.
- Cero Enfermedades Profesionales.

Producción y Costos

- De acuerdo al Budget vigente para el año.
- Enfoque en los equipos críticos.

Mejoramiento continuo

- Ahorros siempre crecientes en los costos.
- Agregación de valor siempre creciente a los procesos.
- Aumento de Disponibilidades de Equipos y Flotas.

2.3.6 Gestión de mantención

La Superintendencia de Mantención Mina de la Operación MantoVerde tiene un modelo de gestión en mantención en el cual el objetivo principal es maximizar la confiabilidad de los equipos e instalaciones de la División, para sostener una operación continua que permita lograr las metas de máxima seguridad y máxima producción a los más bajos costos.



Figura 2.3.6 Gestión de mantención anual (Fuente: Anglo American Chile)

3. Descripción del problema

El área de mantención mina es muy importante ya que es un área con un presupuesto considerablemente grande y gastos elevados lo que la hace un área crítica a la hora de ahorrar costos y aumentar las utilidades.

En primer lugar está el costo por ácido el cual es un costo fijo, en segundo lugar está el costo de mantención principalmente de mantención mina, donde con una buena gestión de los activos puede ser reducido considerablemente.

Por este motivo el área de mantención posee diversos mecanismos de planificación, mantenciones programas y disponibilidad de repuestos. Todo esto lo incluye el programa de gestión de activos ASSET MANAGAMENT el cual posee una estructura para organizar y optimizar los activos de la empresa.

Analizando las distintas Flotas en conjunto con trabajadores del área se obtiene que la Flota de Bulldozer está teniendo demasiadas fallas imprevistas lo cual genera muchas horas de mantención y a la vez horas de producción perdidas. Lo anterior se traduce en costos elevados y una disminución en las utilidades de la empresa, es por esto que se decide estudiar en base al sistema Asset Managament qué tipos de fallas está teniendo la Flota de Bulldozer y cuáles son las que se consideran de mayor criticidad, para así determinar específicamente un sistema a analizar el cual podría ser, Tren de rodaje, Motor, Sistema eléctrico u otros.

Este análisis podrá dar paso a próximos estudios para implementar planes de mantención preventiva en la flota, principalmente para fallas que afecten directamente la confiabilidad de la flota.

4. Objetivos

Objetivo general

- El objetivo general es realizar un estudio basado en la confiabilidad para la Flota de Bulldozer CAT D10T de la minera Anglo American operación MantoVerde.

Objetivos específicos

- Identificar el problema según el número de mantenciones imprevistas versus el número de mantenciones programadas, como también el tiempo que implican cada una de estas.
- Realizar un análisis de la base de datos de la Flota identificando todo los sistemas y su criticidad, para luego elegir el sistema más crítico en términos de número de detenciones, e identificar la falla crítica del sistema. Esto es realizado mediante dos métodos de análisis de base de datos como lo es el diagrama de Jack Knife y el diagrama de Pareto, los cuales serán comparados para asociar los resultados obtenidos y llegar a una conclusión más precisa.
- Realizar un análisis funcional del sistema analizado.
- Realizar un Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)
- Realizar un análisis estadístico aplicando el método de Weibull para la falla más crítica, análisis mediante el cual se obtendrá el diagrama de confiabilidad de Weibull.
- Mediante el grafico de confiabilidad obtenido por Weibull definir el mantenimiento preventivo de la falla según una confiabilidad deseada por la empresa.

5. Marco teórico

5.1 Asset managment

La definición de Asset Management “Gestión de Activos” se puede definir como todas aquellas Actividades y Prácticas Sistemáticas Coordinadas a través de las cuales una organización gerencia de mejor manera sus Activos Físicos y el Comportamiento de los Activos, Riesgo y Gastos durante su Ciclo de Vida Útil con el propósito de alcanzar su plan estratégico organizacional.

Gestión de activos implica el equilibrio de los costos, las oportunidades y los riesgos contra el rendimiento deseado de los activos, para lograr los objetivos de la organización.

La gestión de activos también permite la aplicación de los enfoques analíticos hacia la gestión de un activo a lo largo de las diferentes etapas de su ciclo de vida (que puede comenzar con la concepción de la necesidad de que el activo, a través de su eliminación, e incluye el manejo de las posibles responsabilidades de eliminación de mensaje).

Gestión de activos es el arte y la ciencia de tomar las decisiones correctas y optimizar la entrega de valor. Un objetivo común es minimizar el costo total de la vida de los activos, pero puede haber otros factores críticos, tales como el riesgo o la continuidad del negocio para ser considerado objetivamente en esta toma de decisiones.

5.2 Diagrama de Pareto

Estos diagramas están relacionados con el conocido principio de Pareto o comúnmente conocida como ‘‘La regla 80:20’’, lo que se traduce en: ‘‘ La menor parte de los aportes produce la mayor parte de los resultados’’.

La regla 80:20 fue creada por Vilfredo Pareto, un economista italiano que estudió la distribución de la riqueza en una serie de países por el año 1900. Él descubrió un fenómeno común: cerca del 80% de la riqueza en la mayoría de los países era controlado por una minoría consistente – cerca del 20% de la población. Pareto le llamo a esto ‘‘desequilibrio predecible’’. Finalmente, sus observaciones se hicieron conocidas como la regla del 80:20 o el Principio de Pareto.

La regla del 80:20 se ha expandido desde su primer uso económico. Si bien se podría discutir acerca del 80% y 20% (es a veces 60:40 o 90:10) el conocimiento se aplica ampliamente al liderazgo y a la gestión.

Esta regla se convirtió en uno de los términos abreviados de liderazgo más conocidos, reflejando la noción de que la mayoría de los resultados (de una vida, de un programa, de una compañía financiera) viene de la menor parte del esfuerzo (o la gente o los aportes).

El proceso para desarrollar los diagramas de Pareto para el análisis de fallas consiste en obtener el listado de modos de falla, o en otra versión, los equipos que generan las detenciones o cualquier otro parámetro que se considere en analizar.

El registro debe contar con el detalle de las cantidades de detenciones para cada modo de falla y los tiempo de detención asociados a cada uno de los modos de falla. Estos deben ser ordenados de mayor a menor y determinar el porcentaje acumulativo que tiene cada uno de los factores en el total.

Con estos resultados el diagrama que se obtiene es de la forma:

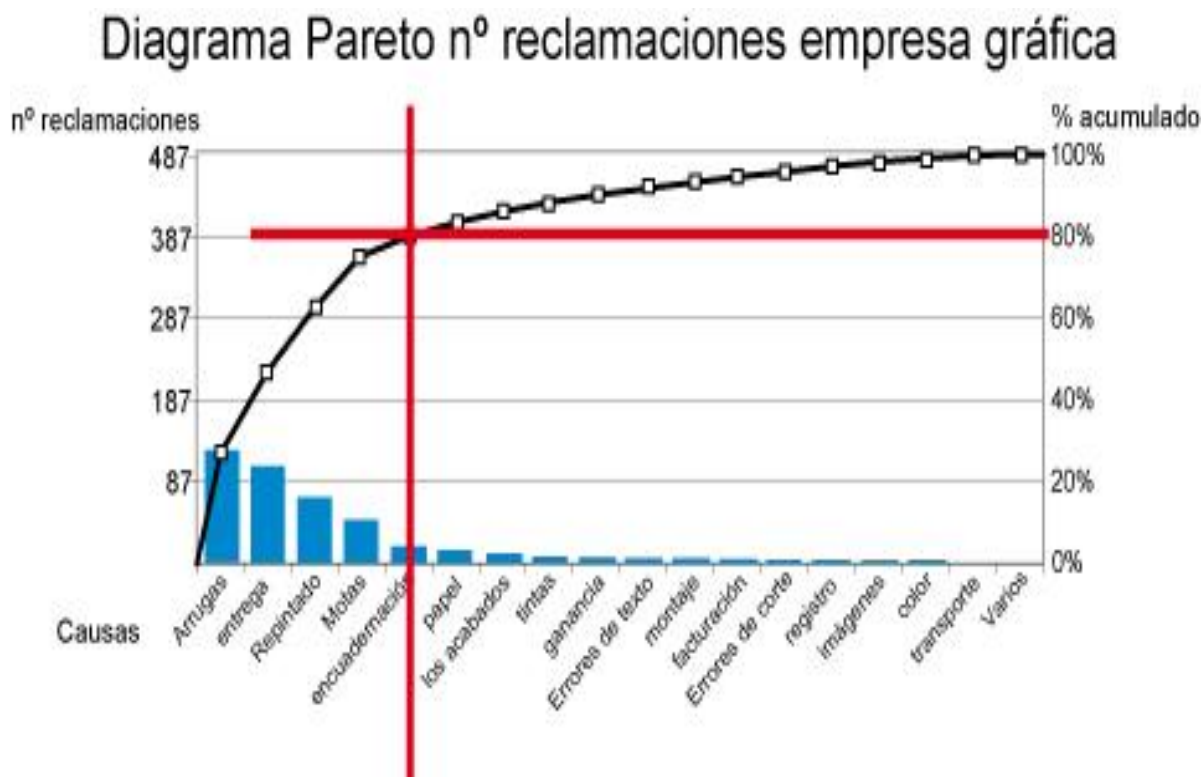


Figura 5.2 Ejemplo diagrama de Pareto, (fuente: <http://qualitasaagg.wordpress.com>)

En donde el límite entregado por el 80% acumulado nos indica cuales debiesen ser los focos de atención en primer lugar.

5.3 Distribución de Weibull

Esta distribución debe su nombre al físico sueco Waloddi Weibull (1887-1979) quien la usó en un artículo publicado en 1939 sobre resistencia de los materiales (A Statistical Theory of the Strength of Materials), aunque ya era conocida de años antes. Es una distribución continua y triparamétrica, es decir, está completamente definida por tres parámetros y es la más empleada en el campo de la confiabilidad.

Esta distribución se utiliza para modelar situaciones del tipo tiempo-fallo, modelar tiempos de vida o en el análisis de supervivencia, a parte de otros usos como, por ejemplo, caracterizar el comportamiento climático de la lluvia en un año determinado.

La función de densidad de la distribución de Weibull para la variable aleatoria t está dada por la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{\beta(t - \delta)^{\beta-1}}{\theta^\beta} \exp \left[- \left(\frac{t - \delta}{\theta} \right)^\beta \right], t \geq \delta$$

Donde

t : Variable aleatoria que, para el caso de la confiabilidad, representa el tiempo entre fallas.

β : Parámetro de forma ($0 < \beta < \infty$)

θ : Parámetro de escala ($0 < \theta < \infty$)

δ : Parámetro de localización ($-\infty < \delta < \infty$)

El parámetro beta, como su nombre indica, determina la forma de la distribución, la cual es función del valor de éste.

El parámetro theta indica la escala de la distribución, es decir, muestra que tan aguda o plana es la función.

El parámetro delta indica, en el tiempo, el momento a partir del cual se genera la distribución.

Una distribución biparamétrica está completamente definida por los parámetros de forma y de escala.

La función confiabilidad $R(t)$ de Weibull se determina por la siguiente expresión:

$$R(t) = \int_{\delta}^{\infty} f(s)ds = e^{\left[-\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^{\beta}\right]}$$

La función distribución acumulativa $F(t)$ es el complemento de la función confiabilidad y se define de la siguiente manera:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^{\beta}}$$

De la expresión anterior, se concluye que la función distribución acumulativa se puede interpretar como la probabilidad de falla. La relación entre la función confiabilidad y la función probabilidad de falla se muestra en la figura.

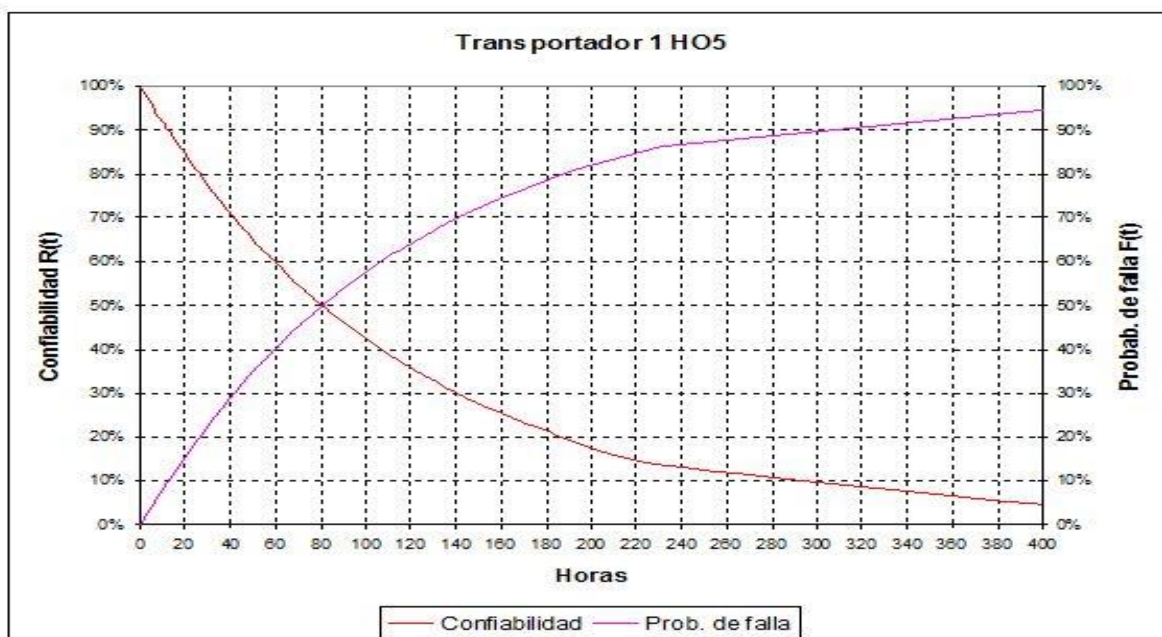


Figura 5.3 Ejemplo función confiabilidad y acumulativa (Fuente: www.confiabilidad.net)

- Determinación de parámetros por el método de mínimos cuadrados

Como se mencionó en la descripción de la distribución de Weibull, existen cinco métodos para calcular los parámetros de la distribución de Weibull. Ellos son:

- Mínimos cuadrados.
- Gráfico de la función tasa de falla.
- Máxima similitud.
- Estimación de momentos.
- Estimadores lineales.

El método de los mínimos cuadrados permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa. El cálculo del parámetro de localización es más complejo, empleándose para ello rutinas de cálculo, como el programa Solver de Excel.

5.4 Método de los mínimos cuadrados

El método de los mínimos cuadrados es un método muy usado en ajuste de curvas. Para poder aplicar este método y obtener los parámetros de Weibull se debe obtener de la base de datos del sistema el tiempo entre fallas (TBF) de todas las fallas existentes en el sistema, las cuales deberán ser asignadas cada una con un código y ordenadas de menor a mayor. Luego de esto se deberá calcular el rango de mediana RM para poder trazar la recta de regresión, este estimado se usa para calcular la función de distribución acumulativa $F(x)$, el cual es un estimador no paramétrico basado en el orden de las fallas. Este aspecto implica que la muestra de datos se debe organizar de menor a mayor como fue mencionado anteriormente.

Finalmente se deberá calcular la coordenada X_i e Y_i de la recta según las fórmulas del método de los mínimos cuadrados donde:

$$X_i = [Ln(t - \delta)]$$

$$Y_i = \left[Ln \left[Ln \left(\frac{t}{1 - F(t - \delta)} \right) \right] \right]$$

Luego de esto se procederá a graficar los rangos X_i e Y_i para lograr un gráfico de dispersión el cual tendrá que ser ajustado a una curva mediante comandos de Excel.

5.5 Indicadores de eficiencia en mantenimiento

Estos indicadores permiten tener una visión más clara de lo que está pasando en un determinado escenario como por ejemplo en una flota de máquinas, al analizarlos se pueden implementar mantenimientos preventivos o detectar irregularidades.

5.5.1 Disponibilidad

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina o sistema esté preparado para producción en un periodo de tiempo determinado.

$$D = \frac{T_o}{T_o + T_p}$$

T_o = Tiempo total de operación

T_p = Tiempo total de detenciones

5.5.2 Confiabilidad

La confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un periodo de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

5.5.3 Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

El MTBF es la media promedio del tiempo de detención por falla de un equipo.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento (TF)}}{\text{Número de fallas del equipo (NF)}}$$

Dónde:

TF= Horas del período menos horas por imprevistos internos menos horas por mantención programada menos horas Operacionales.

NF= Numero de fallas por imprevistos internos: Mecánicos, Eléctricos, etc.

5.5.4 Tiempo promedio de reparación (MTTR)

El tiempo promedio de reparación se define como el tiempo en que se demora en ser reparada la falla, el cual puede ser calculando tomando el número total de detenciones imprevistas y dividiendo por el número de eventos asociados.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo detenciones no programadas de un equipo (TD)}}{\text{Número de fallas del equipo (NF)}}$$

Dónde:

TD= Tiempo total de detenciones provocadas por imprevistos internos (Mecánicos, eléctricos, etc.)

5.5.5 Tiempo entre fallas (TBF)

El tiempo entre fallas corresponde al tiempo que transcurre entre dos fallas consecutivas, este tiempo entre fallas es aplicado para el análisis Weibull el cual tiene como principal función dar una mayor confiabilidad y disponibilidad a la pieza o maquina analizada.

6. Método de Jackknife

El método de Jackknife es una técnica de priorización, basada en los métodos de dispersión logarítmica, el cual utiliza como base el tiempo promedio de reparación (MTTR) y el número de fallas asociadas al equipo. Este método se utiliza principalmente para la clasificación de problemas que causan los tiempos de detención de los equipos y para clasificar los equipos de acuerdo a sus fallas.

El gráfico de Jackknife puede ser dividido en 4 cuadrantes:

- Cuadrante superior izquierdo: Corresponden a las fallas agudas (falla controlada pero equipo este largo tiempo fuera de servicio)
- Cuadrante inferior derecho: corresponden a las fallas crónicas (falla con bajo tiempo de reparación; pero alta frecuencia)
- Cuadrante superior derecho: corresponde a una falla aguda o crítica (falla con alto tiempo de reparación y alta frecuencia)
- Cuadrante inferior izquierdo: corresponde a una falla leve (falla con bajo tiempo de reparación y baja frecuencia).

Estos cuadrantes son formados mediante dos límites, Limite MTTR, Limite n. Estos límites pueden ser establecidos mediante criterios del área de mantenimiento o mediante cálculos dependientes de magnitudes relativas. Un acercamiento que permite determinar valores relativos es utilizar valores promedios como los siguientes:

El tiempo de detención total D que provocan las fallas imprevistas es calculado como:

$$D = \sum \text{Tiempo de detenciones}$$

El número total de fallas:

$$N = \sum \text{Tiempo de cada falla}$$

Por otra parte se le denomina Q al número de códigos distintos que tienen las fallas los cuales son empleados para categorizar los datos de tiempos de detención.

Luego de definir estos parámetros podemos obtener los límites ya mencionados:

$$\text{Limite MTTR} = \frac{D}{N}$$

$$\text{Limite } n = \frac{N}{Q}$$

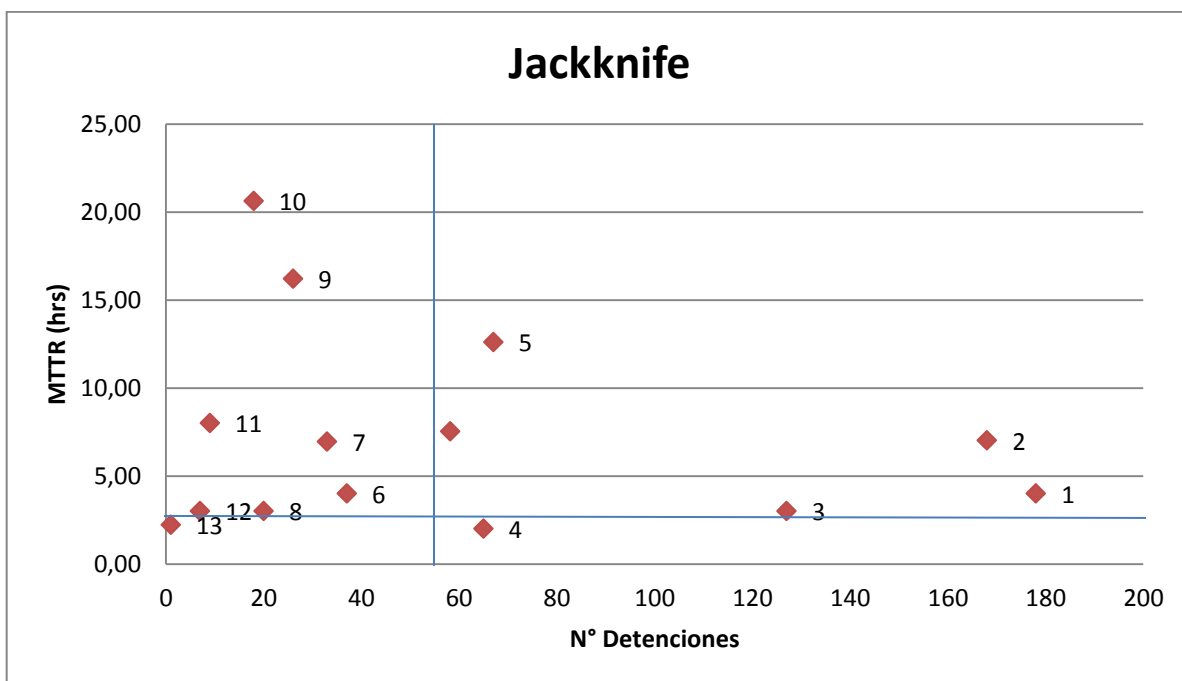


Figura 6 Ejemplo Diagrama de Jackknife.

Como se puede apreciar en este ejemplo el gráfico se divide en 4 cuadrantes los cuales tienen asociados un tipo de fallas, las marcas rojas son todas las fallas o sistemas en falla analizados, como modo de ejemplo se puede apreciar que la falla 5 se encuentra en el cuadrante de fallas críticas las cuales tienen una alta frecuencia y un alto MTTR , así mismo se aprecian los sistemas o fallas 1, 2, 3 , 4 las cuales pertenecen al cuadrante de fallas crónicas las cuales tienen una gran frecuencia de repeticiones pero su MTTR no es muy alto.

7. Análisis de falla

7.1 Análisis de mantenciones

Este tema comienza estudiando la cantidad de imprevistos v/s las mantenciones programadas que presenta la flota de Bulldozer lo cual lo representa el siguiente gráfico:

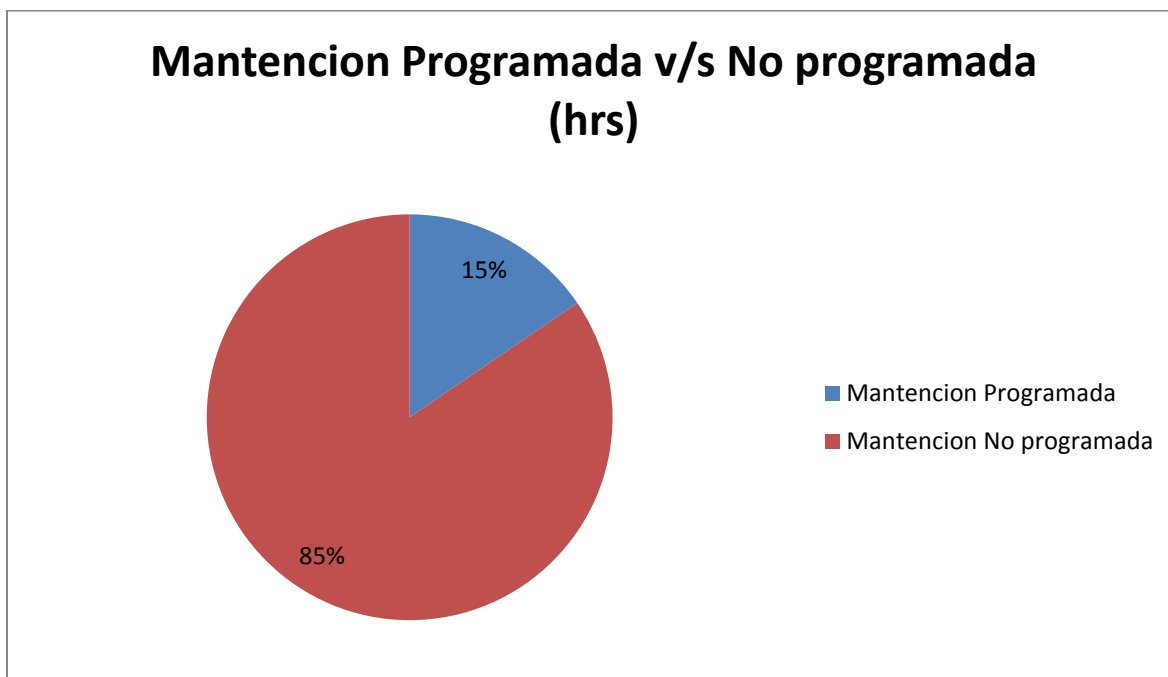


Figura 7.1 Imprevistos v/s Programadas Flota Bulldozer.

Según el gráfico existe un 15% de mantenciones programadas en comparación con un 85% de mantenciones imprevistas lo cual no es un indicador bueno ya que entre mayor cantidad de imprevistos hayan se pierden más horas de producción y aumentan los costos de mantención, ya que solo se le está aplicando en gran parte mantención correctiva y un mínimo porcentaje mantención preventiva. Esta mantención preventiva se realiza cada 250 horas en un programa con 8 pasos cíclicos, cabe destacar que esta flota está relativamente envejecida por lo que han aumentado las fallas imprevistas a lo largo de su vida útil.

Con los datos usados para construir el gráfico podemos obtener la disponibilidad de la flota la cual disminuye al tener muchas horas de mantención correctiva.

Horas/mantenición	No programadas	Programadas
Horas de mantención	5689,2	1041,6

El total de horas de disponibilidad teórica en la flota al año es de 26280 hrs. Teniendo este dato y la tabla anterior se puede calcular la disponibilidad real de la flota de Bulldozer:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Total horas periodo}}{\text{Total horas de detencion mas Total horas de periodo}}$$

Disponibilidad= 79%

Esta disponibilidad a simple vista no se ve muy crítica pero cada porcentaje menos de disponibilidad implica grandes pérdidas de producción. Por lo anterior se realizara un análisis de la base de datos lo que permitirá identificar donde existe un problema mayor a solucionar en términos de la confiabilidad de la flota.

7.2 Aplicación diagramas de Pareto

Para realizar este análisis se procedió a buscar toda la base de datos de fallas imprevistas de los Bulldozer CAT D10T del año 2013, la cual tuvo que ser clasificada por sistemas:

- Motor
- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico
- Get
- Sistema de enfriamiento
- Tren de potencia
- Cabina
- Aire acondicionado
- Rodado
- Estructura
- Accidente operacional
- Engrase
- Frenos

7.2.1 Bulldozer 1001

Tabla 7.2.1.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1001 por sistemas

Sistema	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Motor	69	69	26,3%
Sistema hidráulico	58	127	48,5%
Sistema eléctrico	46	173	66,0%
Get	27	200	76,3%
Sistema de enfriamiento	13	213	81,3%
Tren de potencia	10	223	85,1%
Cabina	10	233	88,9%
Aire acondicionado	8	241	92,0%
Rodado	7	248	94,7%
Estructura	5	253	96,6%
Accidente operacional	4	257	98,1%
Engrase	4	261	99,6%
Frenos	1	262	100,0%
Total	262		

Al realizar esta clasificación se podrá obtener el diagrama de Pareto de detenciones del equipo por sistema lo cual nos dará una idea de la falla que tiene mayor frecuencia lo que nos llevara a enfocarnos a ese sistema.

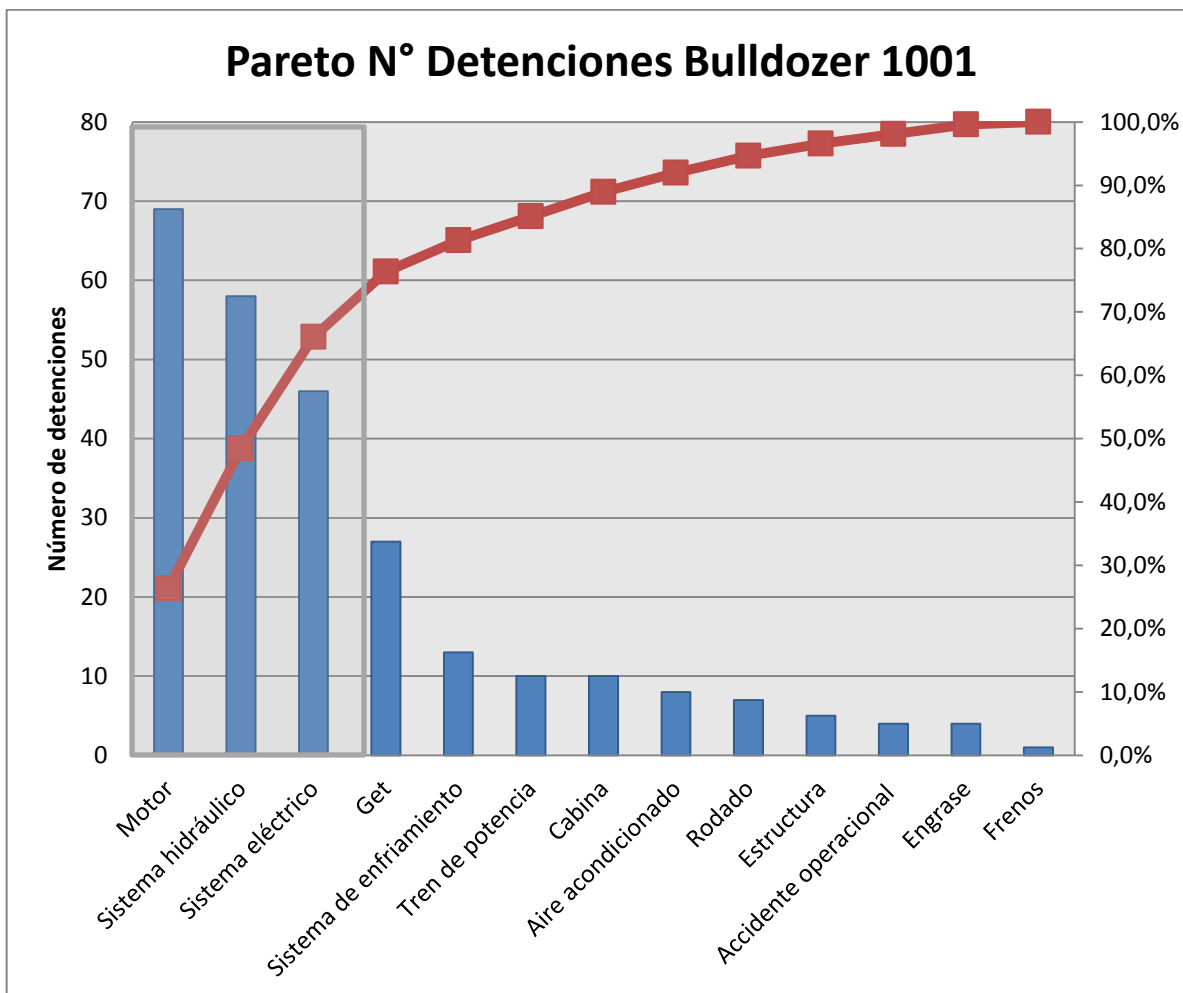


Figura 6.2.1.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas.

En el diagrama se muestra los principales sistemas que fallan en el Bulldozer en los cuales se encuentran:

- Motor
- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico
- Get

Estos sistemas según la teoría de Pareto son el 20% del total de sistemas que provocan el 80% de las detenciones totales del equipo en un año, donde predomina el Motor con 70 imprevistos en el período 2013 lo cual nos da una primera información del sistema que debemos analizar posteriormente.

No obstante dentro de este 20% también se encuentran otros 3 sistemas, (Hidráulico, Eléctrico y Get) los cuales también pueden ser analizados si es necesario.

Luego de detectar que el motor es el sistema con mayor cantidad de imprevistos se procede a realizar un Pareto de segundo orden el cual se enfoca en las fallas imprevistas en ese sistema para luego identificar la más frecuente y crítica.

Tabla 7.2.1.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1001 por fallas

Síntoma	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Filtro de aire	17	17	24,6%
Relleno aceite motor	15	32	46,4%
Problema de escape	11	43	62,3%
Partida	5	48	69,6%
Baja potencia	5	53	76,8%
Fuga combustible	4	57	82,6%
Temperatura	3	60	87,0%
Código active	2	62	89,9%
Estanque de combustible	1	63	91,3%
Filtración decantador agua	1	64	92,8%
Humo radiador	1	65	94,2%
Sensor temperatura motor	1	66	95,7%
Tapa llenado aceite	1	67	97,1%
Admisión motor	1	68	98,6%
Alternador	1	69	100,0%
Total	69		

Como se aprecia en la siguiente base de datos existe una gran variedad de fallas, sin embargo las que tienen mayor frecuencia son aproximadamente el 20% del total.

Se aprecia que el Filtro de aire es el que tiene la mayor cantidad de detenciones, esta falla se debe a que estas máquinas trabajan en ambientes de mucho polvo en suspensión lo que provoca una saturación en los filtros y a la vez una baja de potencia en el motor impidiendo el funcionamiento correcto del Bulldozer.

El Pareto de segundo orden mostrará esto con más detalle e identificara el 20% de las fallas más frecuentes.

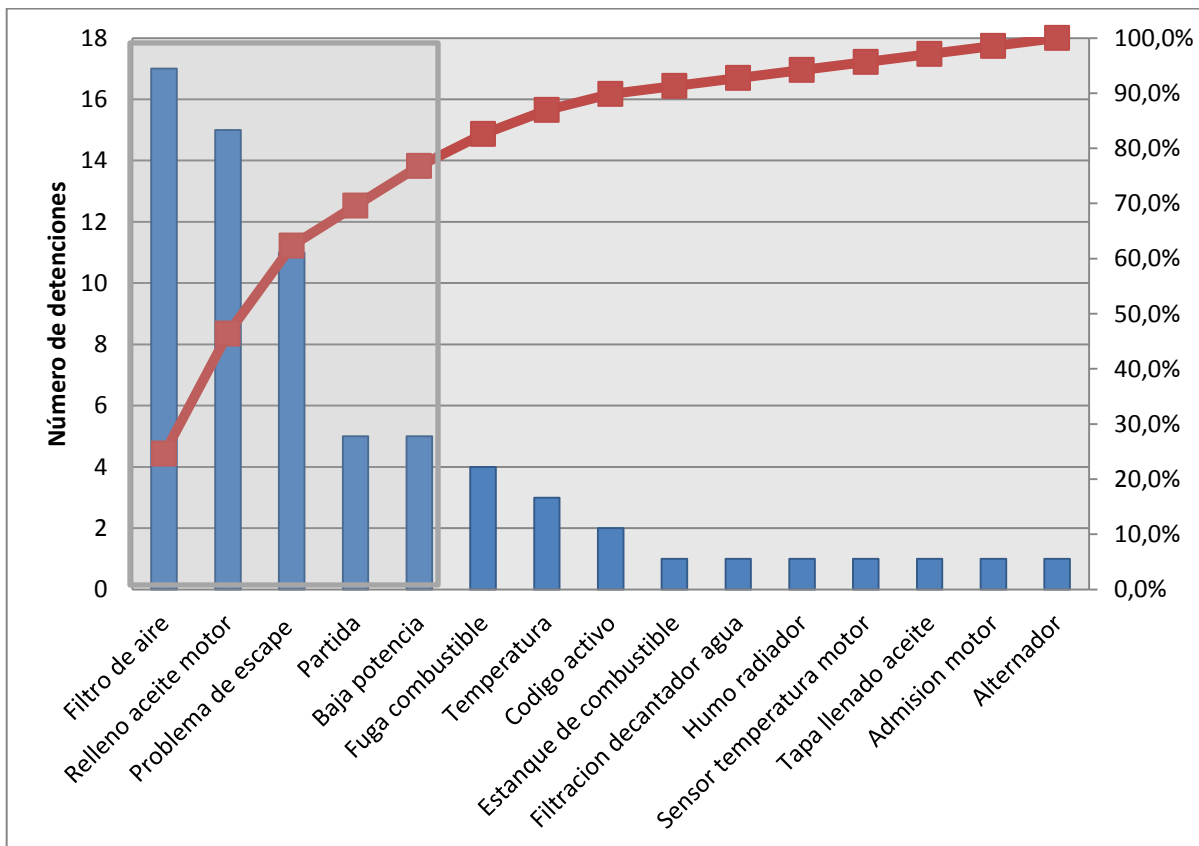


Figura 7.2.1.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas.

Como se aprecia en el Pareto el 20% de las fallas que provocan el 80% del total de imprevistos son:

- Filtro de aire
- Problema de escape
- Relleno aceite motor
- Partida
- Baja potencia

Con este diagrama se ve claramente que el filtro de aire predomina en el N° de detenciones por falla lo que lo hace un buen elemento a analizar, sin embargo aún se deben analizar los demás Bulldozer para verificar si el patrón se repite en los demás

7.2.2 Bulldozer 1002

Ahora se analizara el Bulldozer 1002 el cual como se aprecia en la base de datos tiene aproximadamente la misma cantidad de imprevistos totales 262 en comparación con el Bulldozer 1001 por ende se podría decir que existe una tendencia lo cual se aprecia a simple vista observando la tabla.

Tabla 7.2.2.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1002 por sistemas

Sistema	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Motor	60	60	23%
Sistema hidráulico	53	113	43%
Sistema eléctrico	45	158	60%
Sistema de enfriamiento	32	190	73%
Get	23	213	81%
Tren de potencia	19	232	89%
Cabina	8	240	92%
Rodado	6	246	94%
Estructura	6	252	96%
Aire acondicionado	5	257	98%
Accidente operacional	3	260	99%
Engrase	2	262	100%
Frenos	0	262	100%
Total	262		

Nuevamente se aprecia que el motor es el sistema con mayor índice de imprevistos por lo que será visto con mayor detalle en el diagrama de Pareto a continuación.

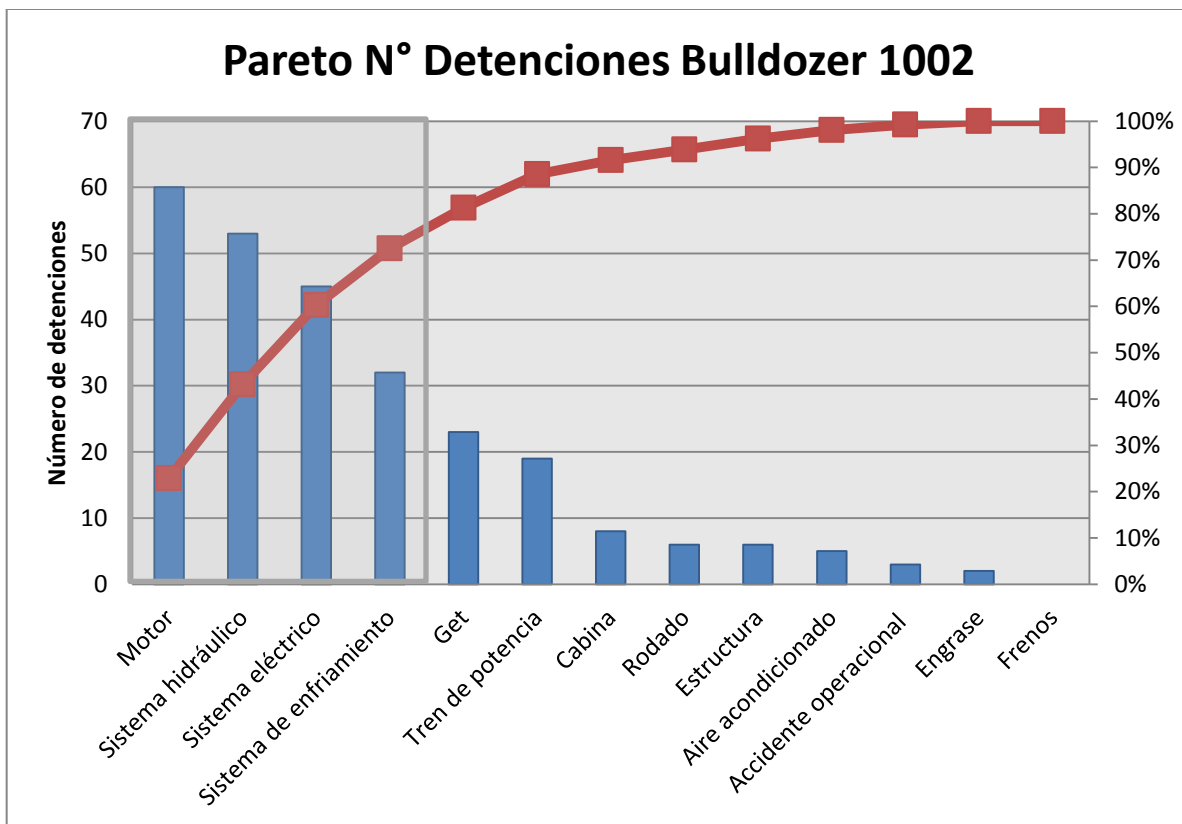


Figura 7.2.2.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas.

En el diagrama se muestra los principales sistemas que fallan en el Bulldozer en los cuales se encuentran:

- Motor
- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico
- Sistema de enfriamiento

Existe una tendencia en comparación al primer Bulldozer con el Motor, Sistema hidráulico y sistema eléctrico lo que demuestra que en general las máquinas se comportan de similar manera lo cual descarta problemas por concepto de operadores diferentes y enfatiza nuevamente en el motor como sistema principal de detenciones.

Tabla 7.2.2.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1002 por fallas

Sintoma	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Filtro de aire	24	24	40%
Baja potencia	10	34	57%
Partita	7	41	68%
Relleno aceite motor	7	48	80%
Problema de escape	4	52	87%
Fuga combustible	3	55	92%
Motor se detiene	3	58	97%
Falla turbo	1	59	98%
Pernos tapa motor	1	60	100%
Total	60		

Se aprecia que el Bulldozer 1002 posee similar número de imprevistos en el motor en comparación con el 1001, sin embargo tiene menos fallas específicas.

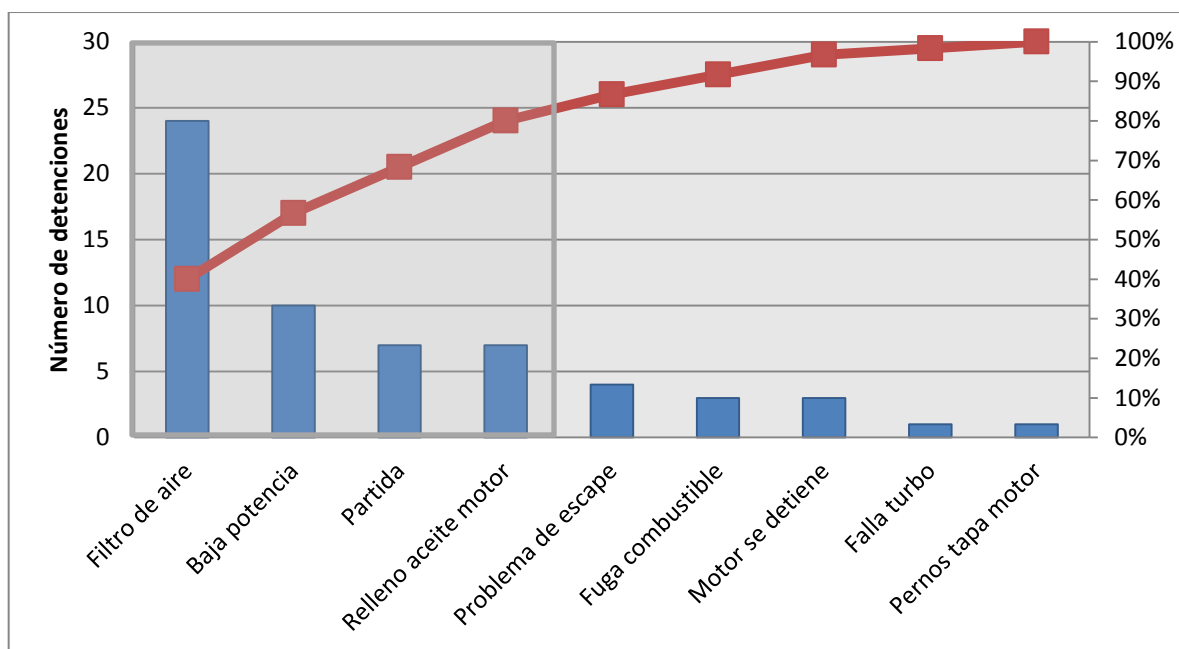


Figura 7.2.2.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas.

Para este equipo la falla más frecuente es el Filtro de aire, lo cual coincide con el Bulldozer 1001 por lo cual es una falla con alto potencial de ser elegida para sus análisis y posteriormente darle una solución en términos de mantención preventiva, sin embargo aún queda por analizar el ultimo equipo para poder dar conclusiones claras sobre la falla a analizar.

7.2.3 Bulldozer 1003

Tabla 7.2.3.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por sistemas

Sistema	Nº Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Sistema hidráulico	57	57	25%
Motor	49	106	46%
Sistema eléctrico	36	142	61%
Sistema de enfriamiento	22	164	71%
Get	15	179	77%
Cabina	15	194	84%
Rodado	13	207	89%
Tren de potencia	8	215	93%
Estructura	7	222	96%
Aire acondicionado	7	229	99%
Engrase	1	230	99%
Accidente operacional	2	232	100%
Frenos	0	232	100%
Total	232		

Se aprecia que el número de detenciones totales sigue teniendo una tendencia similar a los Bulldozer 1001 y 1002, lo cual confirma que no existen anomalías en términos de falla en algún equipo, por lo que solo queda por analizar la flota completa para obtener conclusiones generales.

En este caso el Sistema hidráulico es el que predomina lo cual es factible e indica una pequeña dispersión que puede existir comparando las fallas de la flota. Sin embargo el sistema que nos interesa que es el motor está en segundo lugar con un considerable número de imprevistos.

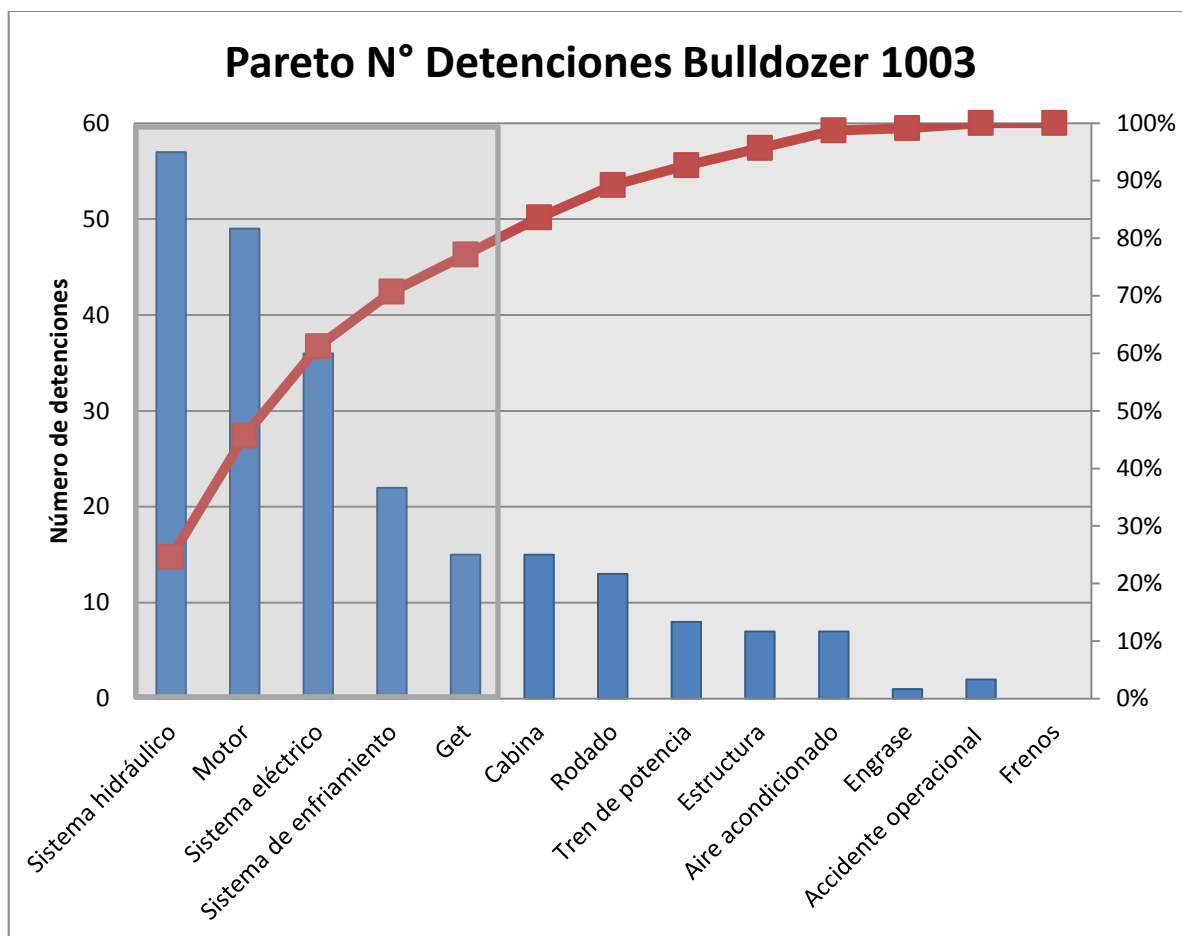


Figura 7.2.3.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas

En el diagrama se muestra los principales sistemas que fallan en el Bulldozer en los cuales se encuentran:

- Sistema hidráulico
- Motor
- Sistema eléctrico
- Sistema de enfriamiento

A pesar que predomina el sistema hidráulico, el motor sigue siendo un sistema de alto índice de imprevistos, se sitúa dentro del 20% de los sistemas que producen la mayor cantidad de fallas, sistema que a simple vista se identifica como el más crónico tomando en cuenta el análisis de los 3 Bulldozer, sin embargo esto debe ser comprobado con un análisis de la flota completa.

Tabla 7.2.3.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por fallas

Sistema	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Baja potencia	17	17	35%
Filtro de aire	14	31	63%
Problema de escape	7	38	78%
Partida	4	42	86%
Relleno aceite motor	3	45	92%
Entrada mat. particulado	1	46	94%
Motor se detiene	1	47	96%
Calibración	1	48	98%
Temperatura	1	49	100%
Total	49		

Se aprecia que para esta máquina el total de detenciones por motor es un poco menor en comparación a las demás máquinas, como también es que el filtro de aire ya no es el que más predomina pero si uno ellos.

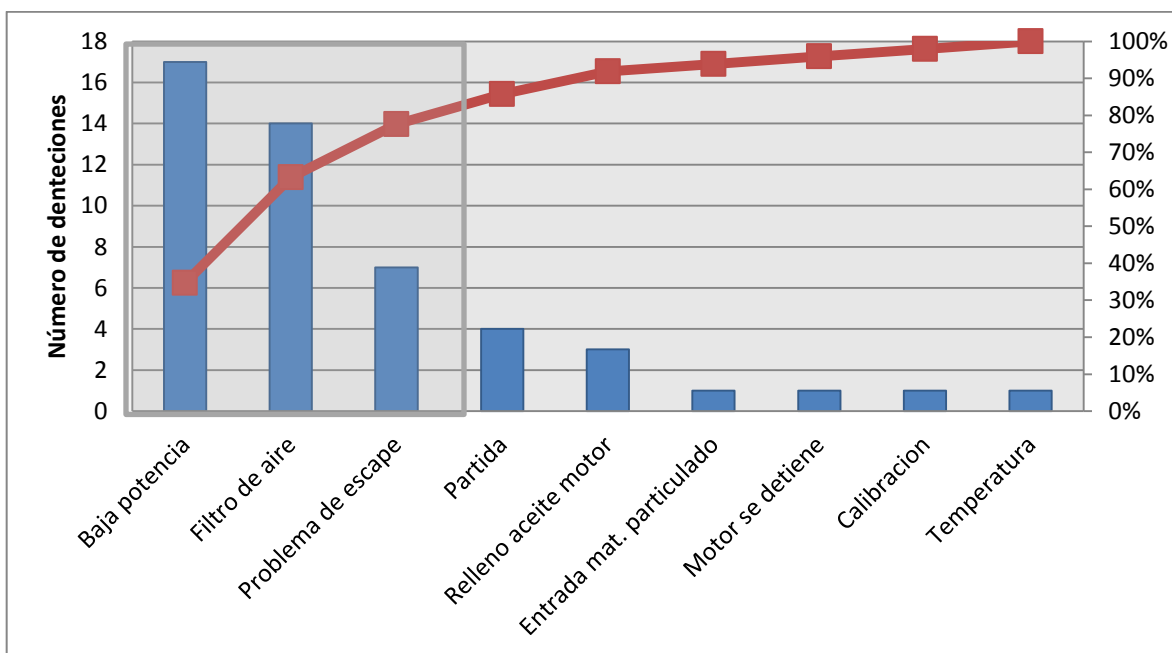


Figura 7.2.3.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas

En este Pareto se aprecia con claridad que la falla más común es la baja potencia del motor, lo cual analizando los tipos de fallas en la base de datos muchas veces es consecuencia del filtro de aire saturado, por otra parte el filtro de aire se encuentra como la segunda falla más significativa la cual se encuentra dentro del 20% del Pareto.

7.2.4 Flota Bulldozer

Tabla 7.2.4.1 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por sistemas flota

Sistema	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Motor	186	186	25%
Sistema hidráulico	160	346	46%
Sistema eléctrico	127	473	63%
Get	81	554	73%
Sistema de enfriamiento	51	605	80%
Tren de potencia	44	649	86%
Cabina	31	680	90%
Aire acondicionado	22	702	93%
Rodado	20	722	96%
Estructura	17	739	98%
Accidente operacional	8	747	99%
Engrase	8	755	100%
Frenos	1	756	100%
TOTAL	756		

El último análisis a realizar es la flota completa ya que las máquinas tienen fallas muy parecidas debido que son de una misma flota. Cuando se analizó cada máquina por separado se veía una tendencia que el motor podría ser el sistema con mayor cantidad de imprevistos el año 2013, esto se comprobó con esta tabla.

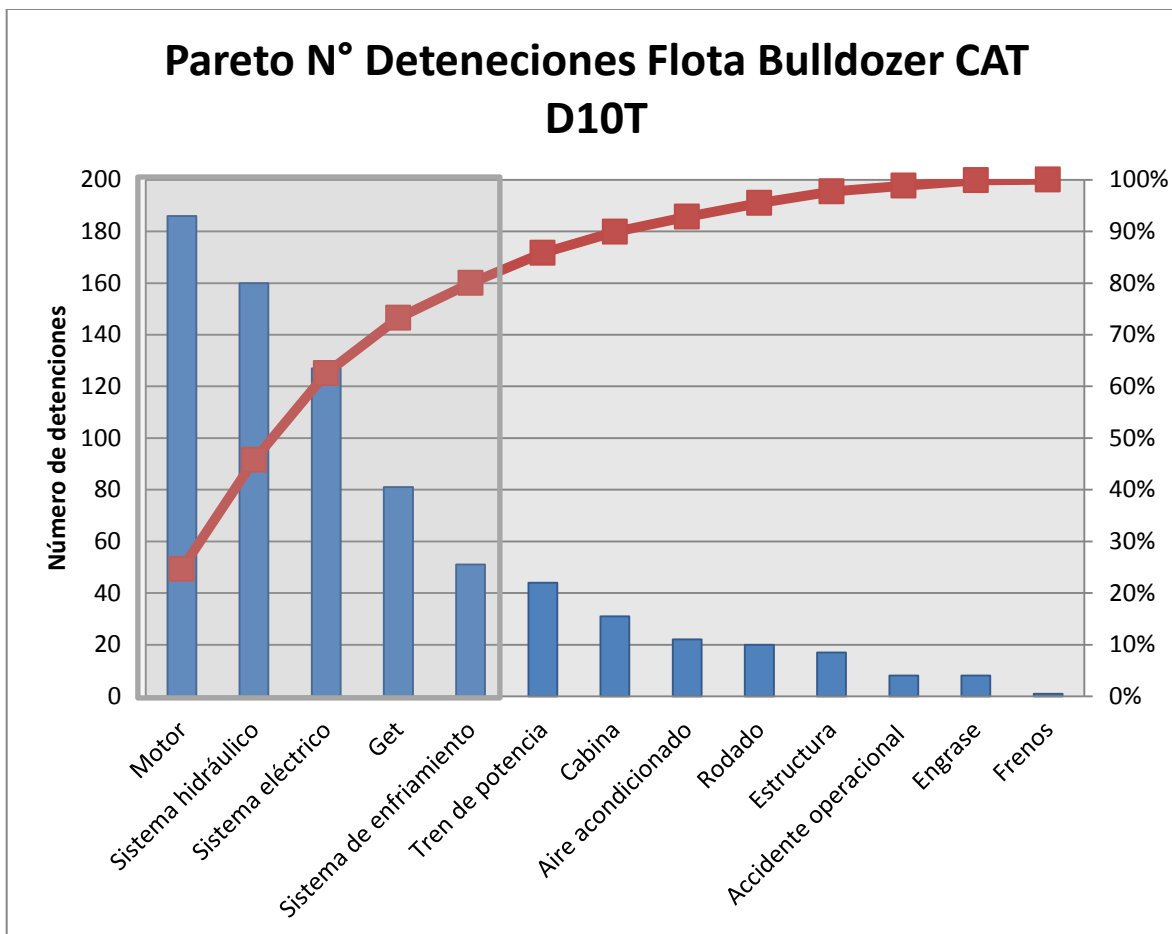


Figura 7.2.4.1 Diagrama de Pareto frecuencia de sistemas flota

En este diagrama de Pareto se la utilizaron los datos de la tabla anterior que corresponden a la flota de Bulldozer. La tendencia que hubo al analizar cada máquina por separado se sigue manteniendo, el motor es el sistema con más imprevistos en el 2013 lo que lo hace un sistema crónico, como también muy cerca está el sistema hidráulico y eléctrico. Debido a que el motor es el sistema más afectado y el que afecta más la confiabilidad de la máquina, a requerimientos de la compañía minera, será el sistema que se analizará en detalle identificando la falla más crítica en términos de detenciones, para eso se necesita realizar un Pareto de segundo orden el cual será desarrollado a continuación.

Tabla 7.2.4.2 Resumen Base de datos Bulldozer 1003 por fallas flota

Sintoma	N° Detenciones	Frecuencia acumulada	Frecuencia acum.
Filtro de aire	55	55	31%
Baja potencia	32	87	49%
Relleno aceite motor	25	112	63%
Problema de escape	22	134	75%
Partida	16	150	84%
Fuga combustible	7	157	88%
Temperatura	4	161	90%
Motor se detiene	4	165	93%
Codigo activo	2	167	94%
Estanque de combustible	1	168	94%
Filtracion decantador agua	1	169	95%
Humo radiador	1	170	96%
Sensor temperatura motor	1	171	96%
Tapa llenado aceite	1	172	97%
Admision motor	1	173	97%
Alternador	1	174	98%
Entrada mat. Particulado	1	175	98%
Falla turbo	1	176	99%
Pernos tapa motor	1	177	99%
Calibración	1	178	100%
Total	178		

En esta tabla se muestran todas las fallas asociadas a la Flota de Bulldozer CAT D10T muchas se repiten en las 3 máquinas como es el filtro de aire, baja potencia, relleno de aceite etc. Otras se presentaron específicamente en cada máquina como lo es la falla del turbo, pernos tapa de motor, sensor temperatura motor, etc.

Con estos datos podremos determinar el Pareto de segundo orden para la flota lo cual nos dará el resultado final para definir qué falla se analizará en este estudio y posteriormente

darle una solución mediante el mantenimiento preventivo y la estrategia de Asset Management.

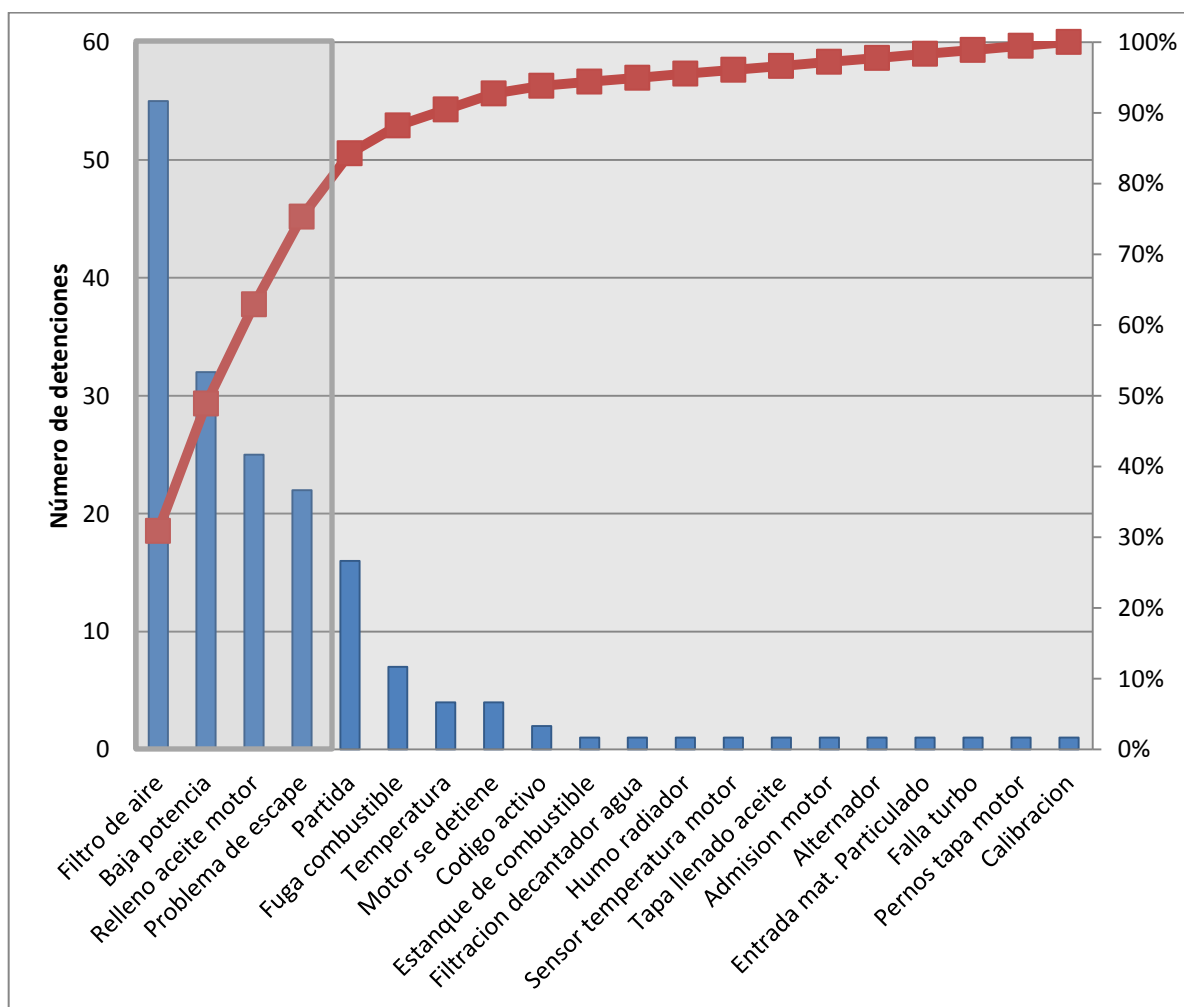


Figura 7.2.4.2 Diagrama de Pareto frecuencia de fallas flota

Este diagrama de Pareto es muy importante en este análisis ya que analiza las fallas en el motor de la flota completa lo cual confirma que el filtro de aire es el que provoca más detenciones en el equipo que otro tipo de falla. También podemos apreciar la segunda falla más crónica como baja potencia del motor lo cual puede ir directamente relacionado ya que al saturarse éste el motor baja su potencia.

Debido a los resultados obtenidos se analizará la falla del filtro de aire, donde se estructurará una estrategia de mantenimiento preventivo para este repuesto del Bulldozer. La pauta de esta estrategia está propuesta por el sistema de gestión que usa la compañía Asset Management.

8. Método Jackknife

8.1 Jackknife según sistema

Este primer análisis con el método de Jackknife consta obtener el MTTR Y N° de detenciones de la base de datos de la flota, para así obtener mediante el método de Jackknife resultados que nos indicaran que sistema es el más crítico o crónico lo cual será reflejado en el diagrama.

Tabla 8.1 Base de datos para diagrama de Jackknife por sistemas flota

Código	Sistema	MTTR	Tiempo total	N°Detenciones
1	Motor	5,33	948,92	178
2	Sistema hidráulico	7,02	1179,51	168
3	Sistema eléctrico	4,89	620,42	127
4	Get	3,47	225,71	65
5	Sistema de enfriamiento	12,60	844,51	67
6	Tren de potencia	9,43	348,93	37
7	Cabina	6,95	229,5	33
8	Aire acondicionado	2,70	53,9	20
9	Rodado	16,20	421,23	26
10	Estructura	20,62	371,09	18
11	Accidente operacional	48,91	440,16	9
12	Engrase	0,44	3,07	7
13	Frenos	2,23	2,23	1
Límite 1	Lim MTTR	7,53	5689,18	756
Límite 2	Límite Detenciones	58,15		

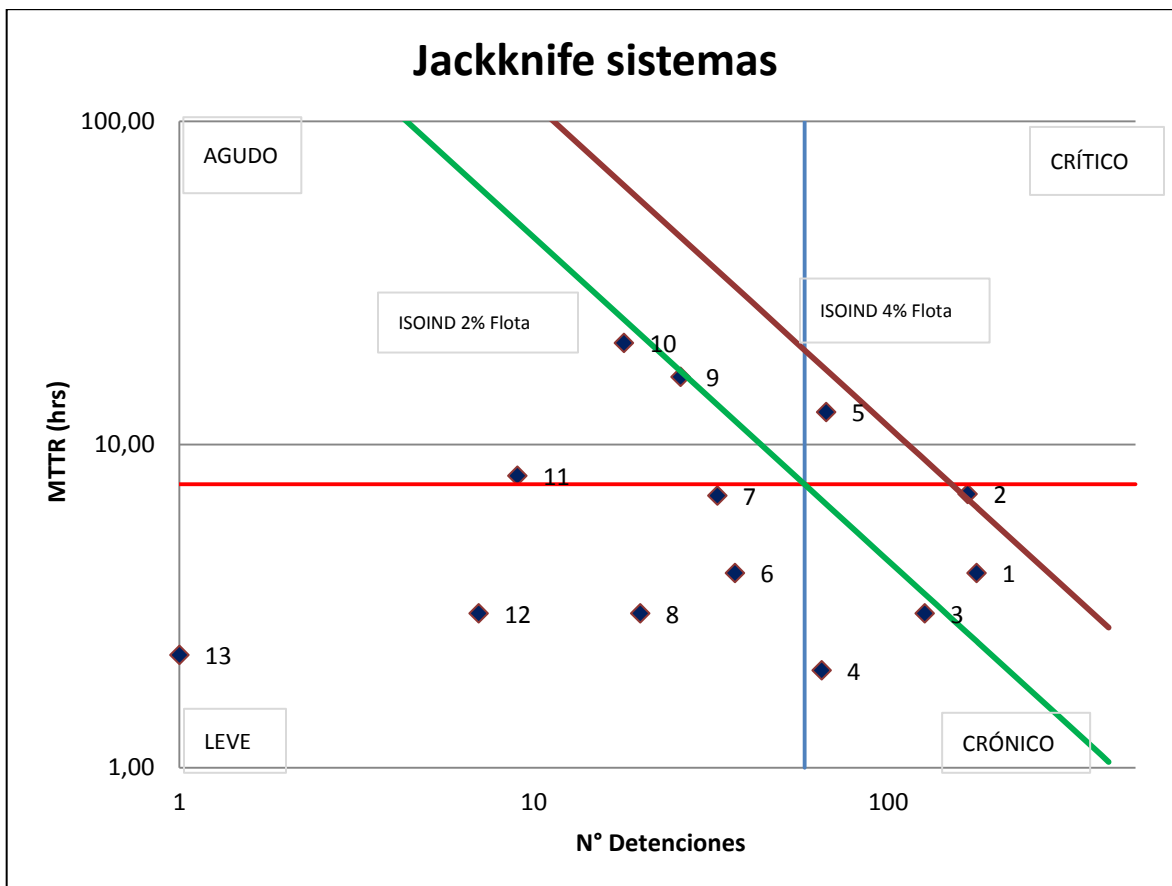


Figura 7.1 Diagrama de Jackknife según sistemas flota

En este caso nuestro sistema de interés que es el motor aparece en el cuadrante crónico que afecta directamente a la confiabilidad del equipo lo cual concuerda con el resultado obtenido con el análisis de Pareto.

Las líneas de Isoindisponibilidad se grafican como apoyo al análisis de Jackknife, en este caso la línea verde muestra que todos los puntos que están sobre ella como lo es el 10, 9, 3 generan un 2% de indisponibilidad cada uno en la flota por ende en total los 3 puntos generan un 6% de indisponibilidad en la flota para el periodo de estudio el cual es 1 año. Los puntos bajo la línea verde generan menos de un 2% de indisponibilidad y los que están arriba de la línea generan más de un 2% de indisponibilidad. El mismo análisis se hace para la línea roja la cual genera un 4% de indisponibilidad.

8.2 Jackknife según falla

Esta tabla consta de identificar todos los MTTR de cada falla y el número de detenciones para así lograr identificar mediante el método de Jackknife que fallas son las más críticas, agudas, crónicas y leves para así complementarlo con el estudio de Pareto realizado anteriormente y poder lograr una conclusión final de acuerdo a los resultados de los dos métodos.

Tabla 8.2 Base de datos para diagrama de Jackknife por fallas flota

Código	Síntoma	MTTR	Tiempo total	Nº Detenciones
1	Filtro de aire	0,94	51,8	55
2	Baja potencia	9,15	292,67	32
3	Relleno aceite motor	2,96	74	25
4	Problema de escape	7,03	154,65	22
5	Partida	9,32	149,1	16
6	Fuga combustible	7,19	50,34	7
7	Temperatura	12,51	50,04	4
8	Motor se detiene	1,04	4,14	4
9	Código activo	11,97	23,94	2
10	Estanque de combustible	41,46	41,46	1
11	Filtracion decantador agua	0,01	0,01	1
12	Humo radiador	10,36	10,36	1
13	Sensor temperatura motor	3,42	3,42	1
14	Tapa llenado aceite	1,94	1,94	1
15	Admision motor	2,33	2,33	1
16	Alternador	8,13	8,13	1
17	Entrada mat. Particulado	11,66	11,66	1
18	Falla turbo	16,24	16,24	1
19	Pernos tapa motor	1,12	1,12	1
20	Calibracion	1,57	1,57	1
Limite 1	Lim MTTR	5,33	948,92	178
Limite 2	Limite detenciones	8,9		

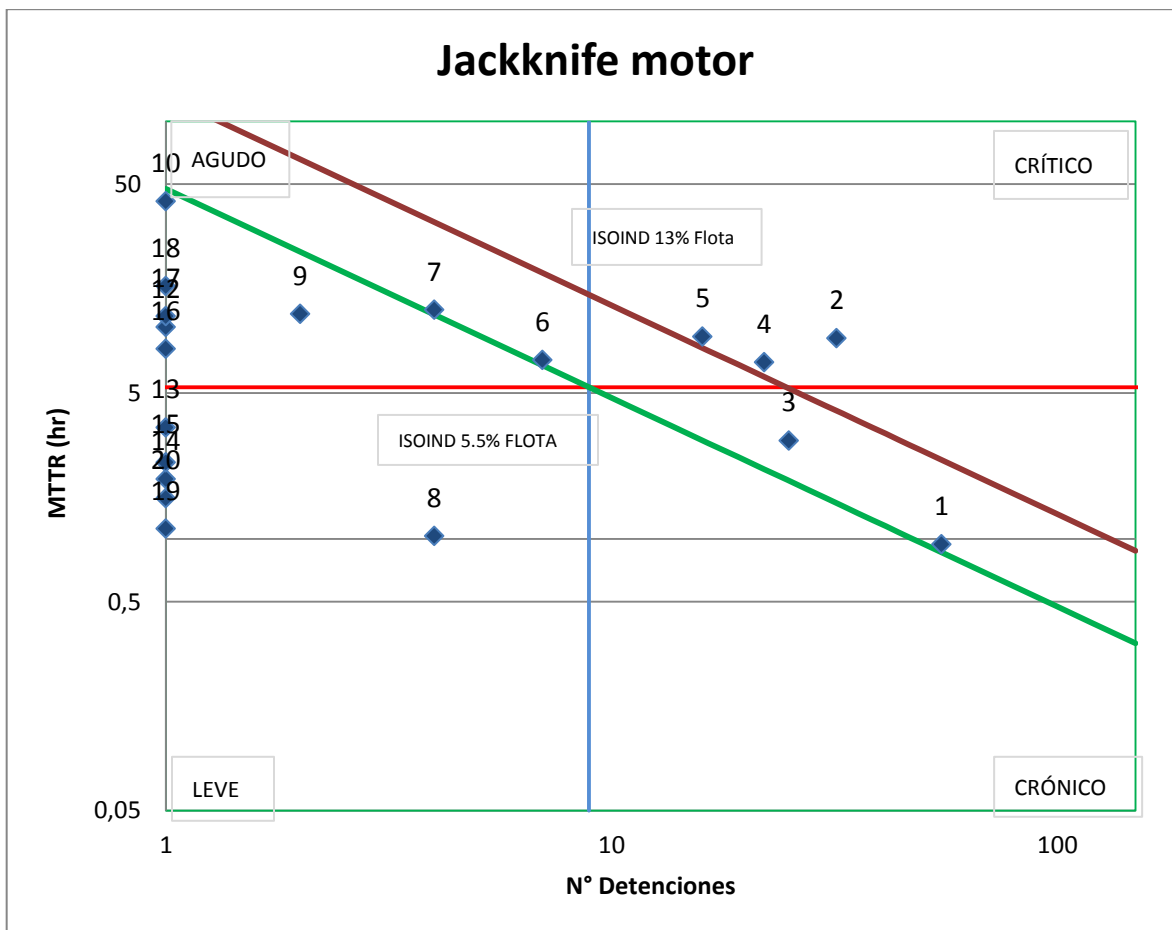


Figura 8.2 Diagrama de Jackknife según fallas flota

Como los resultados anteriores (Jackknife y Pareto) nos dan indicios que el motor es un sistema crónico a analizar, procedemos a realizar un diagrama de Jackknife para determinar cuáles son sus fallas más crónicas para luego ser analizadas en base a la confiabilidad de la flota.

En este caso concordando con los gráficos de Pareto el filtro de aire aparece en el cuadrante crónico del Jackknife debido a su alto número de detenciones lo cual afecta directamente a la confiabilidad.

Las líneas de Isoindisponibilidad son graficadas como apoyo para mostrar el escenario en que se encuentra en el motor, la línea verde de Isoindisponibilidad de 5.5 % significa que los puntos sobre ella generan un 5.5% de indisponibilidad en el motor para toda la flota, por otra parte los puntos bajo la línea verde generan menos de un 5.5% de indisponibilidad y los que están arriba de la línea generan más de un 5.5% de indisponibilidad, igualmente la

línea roja significa que los puntos sobre ella como lo son el 5 y 4 generan un 13% de indisponibilidad cada uno en el motor para la flota.

Por otra parte en el cuadrante superior derecho se encuentran las fallas agudas o críticas, falla con alto tiempo de reparación y alta frecuencia siendo una de las más frecuentes la baja potencia del motor.

Este síntoma de baja potencia de motor se debe en la mayor cantidad de veces al problema de filtro de aire por saturación, donde el motor no aspira el suficiente aire para que el turbo del Bulldozer pueda inyectar aire a presión a las cámaras de combustión, esto hace que el motor pierda potencia.

Esta falla común puede provocar graves problemas en el motor como pasa en algunos casos de reporte de baja potencia lo cual genera que el equipo este detenido muchas horas para reparar la falla.

Debido a esto según los resultados del análisis de Pareto y Jackknife se debe realizar un estudio del filtro de aire del Bulldozer para así determinar una solución al problema la cual podría ser un mantenimiento preventivo, solución que nos dará el análisis de modos y efectos de falla.

9. Análisis funcional

En este ítem se analiza la función general del objeto de estudio como también sus funciones secundarias las cuales son categorizadas por sistemas.

- **Función primaria:** El Bulldozer en la mina tiene diversas funciones, pero todas tienen como objetivo el movimiento de tierra, en primer lugar es un equipo de apoyo para el cargador frontal después del periodo de tronadura, construye las rampas de acceso a la mina, construye caminos, etc.

- **Funciones secundarias:**

Estas funciones serán clasificadas en cada uno de los sistemas de la máquina.

➤ Motor

El motor tiene como función generar la potencia necesaria para que la máquina pueda trabajar sin problemas.

➤ Sistema eléctrico

El sistema eléctrico de la máquina permite que todas las luces y mecanismos que funcionan con corriente eléctrica funcionen sin inconvenientes.

➤ Sistema hidráulico

El sistema hidráulico de la máquina se encarga de sus elementos principales de trabajo como son el Ripper y Balde.

➤ Get

Los get son todos los elementos de la máquina que están sometidos directamente al trabajo, como lo es el Ripper, canilleras, etc. Estos tienen como función romper el terreno, proteger ciertas partes de la máquina como es el caso de las canilleras, etc.

➤ Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento se encarga de bajar la temperatura al motor y mantenerlo en buenas condiciones para el funcionamiento por periodos prolongados.

➤ Tren de potencia

El tren de potencia tiene como función transmitir la potencia que se genera en el motor al respectivo tren de rodaje para que se produzca el movimiento de la máquina.

➤ Cabina

La cabina y sus elementos tienen como función proteger al operario y mantenerlo seguro.

➤ Aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado es muy importante ya que en las condiciones que sé que se trabaja existe mucha exposición al sol por horarios prolongados por lo cual la función de este es mantener fresco al operador sin molestias físicas por el calor.

➤ Rodado

Este sistema permite el movimiento del Bulldozer por medio de cadenas y ruedas.

➤ Frenos

El sistema de frenos es vital para la detención de la máquina, a pesar que no transita a grandes velocidades, el Bulldozer es pesado por lo que debe tener los frenos en óptimas condiciones.

10. Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)

En este módulo se presenta el análisis FMEA cuya finalidad es analizar todas las fallas potenciales de un sistema en estudio, en este caso el sistema en estudio es el motor de la flota de Bulldozer el cual tiene diversos tipos de fallas.

Según los análisis previos mediante los diagramas de Pareto pudimos identificar que el filtro de aire es la falla más recurrente junto con la baja potencia en el motor, sin embargo a pesar que están clasificadas distintas por medio de la base de datos, están directamente relacionadas ya que al tener una baja potencia en el motor es muy probable que sea el filtro saturado o alguna consecuencia de ello. Dicho esto en este análisis FMEA se analizara el motor con su falla funcional más importante que es la pérdida de potencia en el motor.

Algunas definiciones para este módulo:

- **Falla funcional:** Un estado en el cual un equipo o sistema es incapaz de realizar una función específica a un nivel deseado de desempeño (SAE JA1011).
- **Módulo de falla:** Es cualquier evento que genera una falla funcional (SAE JA1011).
- **Efecto de falla:** Es aquello que sucede cuando ocurre un Modo de Falla (SAE JA1011)

9.1 Análisis de modos y efectos de falla filtro de aire (FMEA)

- Sistema: Motor
- Función: Generar la potencia para que el Bulldozer pueda moverse y realizar sus trabajos.
- Modo de falla: Saturación Filtro de aire.
- Falla funcional: Baja potencia en el motor.
- Efectos de falla: El filtro de aire al estar sometido a condiciones de una cantidad considerable de material particulado se satura lo cual provoca pérdida de potencia.
- Soluciones: Debido a que el modo de falla analizado falla, en este caso se satura, por condiciones propias del lugar de trabajo condición que no es posible de modificar, se debe realizar un mantenimiento preventivo de la falla para aumentar la confiabilidad de la flota y su disponibilidad. Esta falla puede provocar un imprevisto de mayor magnitud como lo es la entrada de material particulado al motor si es que el Bulldozer no es detenido al sonar la alarma de filtro saturado.

Para implementar el mantenimiento preventivo se deben estudiar todos los eventos asociados a esta falla para determinar una tendencia mediante un método estadístico como lo es el análisis de Weibull

De acuerdo a este análisis se identifica el procedimiento a tomar para la falla del filtro de aire el cual será un mantenimiento preventivo ideado mediante el método de Weibull.

11. Diagrama de Weibull

La distribución de Weibull es una distribución continua y triparamétrica, es decir, está completamente definida por tres parámetros y es la más empleada en el campo de la confiabilidad, estos parámetros serán calculados mediante el método de mínimos cuadrados el cual está explicado con detalle en la sección.

El método de los mínimos cuadrados permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa. El cálculo del parámetro de localización es más complejo, empleándose para ello rutinas de cálculo, como el programa Solver de Excel.

11.1 Análisis Weibull

En esta tabla se muestra el cálculo del Rango de mediana (RM) los valores de la abscisa y ordenada según el método de los mínimos cuadrados para luego poder graficar dichos puntos en un gráfico de dispersión y ajustar una recta, a la pendiente de dicha recta se le denomina parámetro de forma (β) el cual posteriormente será analizado.

Tabla 11.1.1 Base de datos para determinar parámetros de Weibull.

i	TBF	RM	$X_i[\ln(t-\delta)]$	$Y_i[\ln[\ln(t/(1-F(t-\delta)))]]$	R(t)	F(t)
1	4,55	0,013359	1,515432437	-4,30886466661829	0,987049	0,012951
2	4,97	0,032443	1,602748924	-3,41183332137665	0,985938	0,014062
3	42,49	0,051527	3,749203377	-2,93932059421194	0,897174	0,102826
4	46,44	0,070611	3,838220969	-2,61418340922962	0,888637	0,111363
5	56,13	0,089695	4,027660531	-2,36472443119189	0,86822	0,13178
6	61,49	0,108779	4,118870043	-2,16141174145475	0,857202	0,142798
7	73,30	0,127863	4,294598504	-1,98917465116609	0,833573	0,166427
8	75,83	0,146947	4,328556265	-1,83927198478111	0,82862	0,17138
9	80,18	0,166031	4,384225604	-1,70617742250443	0,820216	0,179784
10	83,52	0,185115	4,425082798	-1,58617231221287	0,813816	0,186184
11	92,75	0,204198	4,529901712	-1,47663288501412	0,796475	0,203525
12	94,69	0,223282	4,550649467	-1,37563735377011	0,79288	0,20712
13	95,80	0,242366	4,562282982	-1,28173471298900	0,790841	0,209159
14	129,46	0,26145	4,863374099	-1,19380140453981	0,731808	0,268192
15	179,51	0,280534	5,19021699	-1,11094857813279	0,653287	0,346713
16	180,44	0,299618	5,195413707	-1,03245990600644	0,651914	0,348086
17	191,60	0,318702	5,255402617	-0,95774859898364	0,635784	0,364216
18	198,80	0,337786	5,292290911	-0,88632690396226	0,625612	0,374388
19	208,44	0,35687	5,339659226	-0,81778395307551	0,61227	0,38773
20	209,81	0,375954	5,346190444	-0,75176934261231	0,610406	0,389594
21	225,48	0,395038	5,418228999	-0,68798072879806	0,589462	0,410538
22	229,37	0,414122	5,435349742	-0,62615429247065	0,584382	0,415618

23	234,24	0,433206	5,456339116	-0,56605728524773	0,578103	0,421897
24	259,03	0,45229	5,556933161	-0,50748210528966	0,547236	0,452764
25	260,02	0,471374	5,560756415	-0,45024150765821	0,546038	0,453962
26	263,51	0,490458	5,574091318	-0,39416466047772	0,541848	0,458152
27	267,70	0,509542	5,589857612	-0,33909383080212	0,536868	0,463132
28	300,59	0,528626	5,70576292	-0,28488153403209	0,499425	0,500575
29	321,79	0,54771	5,773900022	-0,23138801471474	0,4768	0,5232
30	348,74	0,566794	5,854338607	-0,17847894886973	0,449604	0,550396
31	380,74	0,585878	5,942114539	-0,12602327120695	0,419454	0,580546
32	391,86	0,604962	5,970897544	-0,07389103608763	0,409486	0,590514
33	394,96	0,624046	5,978777461	-0,02195121917274	0,406752	0,593248
34	397,76	0,64313	5,985858585	0,02993064326171	0,404293	0,595707
35	414,70	0,662214	6,027562066	0,08189510023969	0,389785	0,610215
36	444,23	0,681298	6,096332441	0,13409187344205	0,365797	0,634203
37	503,11	0,700382	6,220807178	0,18668359506749	0,322476	0,677524
38	503,87	0,719466	6,22231885	0,23985048801253	0,321953	0,678047
39	514,27	0,73855	6,24275058	0,29379641060011	0,31489	0,68511
40	530,45	0,757634	6,273731987	0,34875689728512	0,304222	0,695778
41	531,16	0,776718	6,275072707	0,40501017098882	0,303762	0,696238
42	535,35	0,795802	6,28292489	0,46289268748298	0,301068	0,698932
43	571,59	0,814885	6,348425353	0,52282180449052	0,278767	0,721233
44	575,42	0,833969	6,355104554	0,58533007532553	0,276513	0,723487
45	600,03	0,853053	6,396974562	0,65111938772543	0,262479	0,737521
46	827,40	0,872137	6,718287583	0,72115092234579	0,162957	0,837043
47	861,56	0,891221	6,758746956	0,79680443390865	0,15179	0,84821
48	1027,41	0,910305	6,934797973	0,88018430266676	0,107751	0,892249
49	1234,84	0,929389	7,118693537	0,97477613417547	0,07047	0,92953
50	1656,99	0,948473	7,412758485	1,08709785741403	0,030015	0,969985
51	2520,95	0,967557	7,832390102	1,23205819354923	0,005405	0,994595
52	3606,90	0,986641	8,190604496	1,46223208608402	0,000654	0,999346

➤ Grafico ajuste y obtención de parámetros

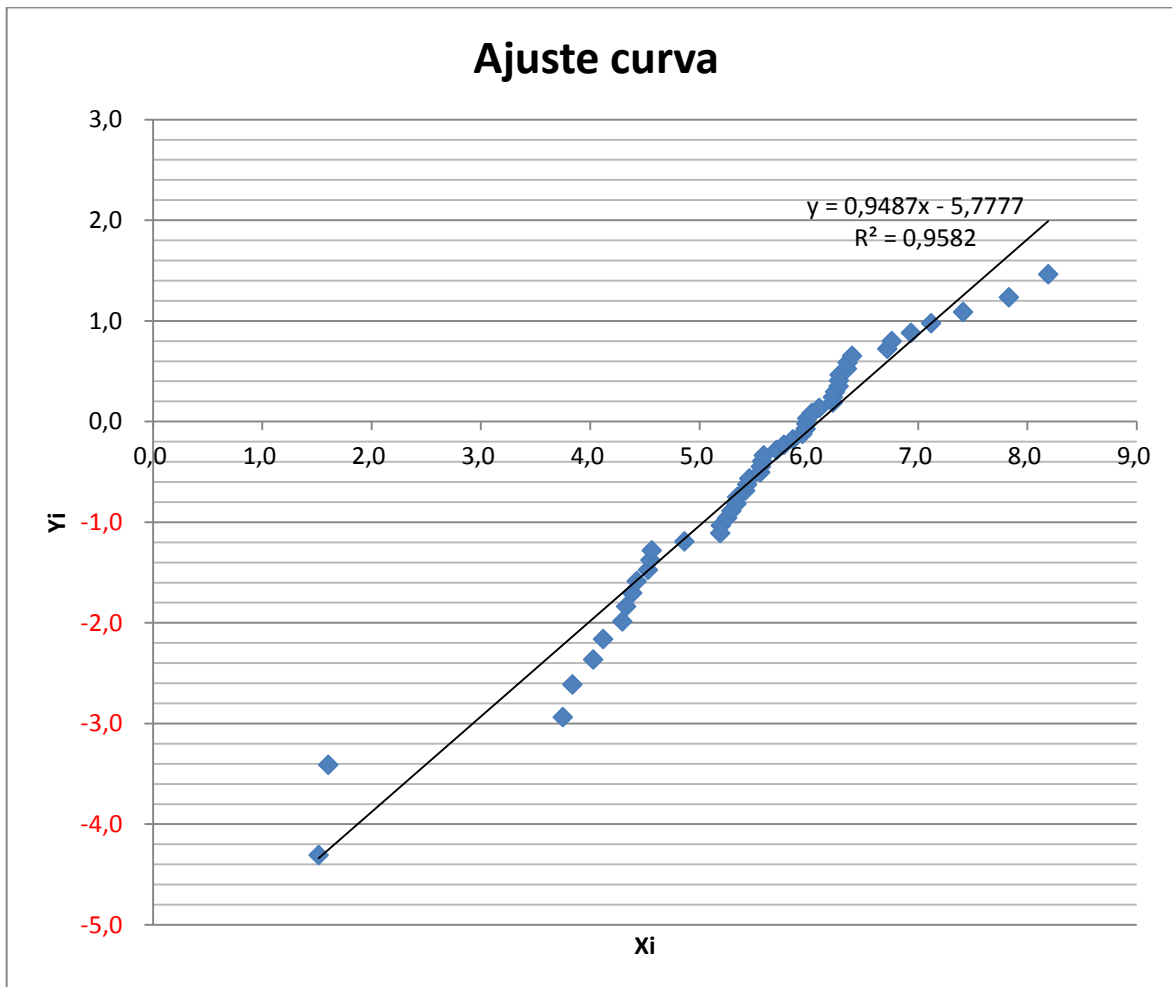


Figura 11.1 Ajuste de curva, determinación parámetros Weibull

Tabla 11.1.2 Ajuste curva para determinación de parámetros Weibull.

PENDIENTE	INTERCEPTO (b)	r	r²	Localizacion
0,948654998	-5,777656093	0,9788908	0,958227	0

Luego de ajustar una recta a nuestros datos y obtener su pendiente se obtiene el parámetro de forma, mediante este parámetro y las fórmulas mencionadas en el marco teórico se obtiene el parámetro de escala $\theta=441,6$ el cual es definido según Weibull como la edad al cual el 63.2% de las unidades pueden fallar. Luego de obtener el parámetro de escala y forma se procede a obtener el parámetro de localización el cual por lo general es un poco menor al RM más pequeño.

11.2 Parámetros de la distribución Weibull

Tabla 11.2.1 Parámetros de la distribución de Weibull

Parámetro de localización (δ)	0
Parámetro de forma (β)	0,948655
Parámetro de escala (θ)	441,58298

Luego de obtener los 3 parámetros de la distribución de Weibull se procederá a trazar el diagrama de Weibull tanto de confiabilidad y distribución acumulada, ambos arrojan datos relevantes a la hora planificar una mantención preventiva. El diagrama de confiabilidad nos permite determinar cuánto porcentaje existe de confiabilidad si el filtro de aire se cambia a unas determinadas horas, esto permite desarrollar un plan de mantenimiento preventivo según la confiabilidad que se desee por parte de la empresa. Por otra parte la función de distribución acumulada permite predecir cuándo se puede provocar una falla con un grado de certeza asociado.

11.3 Curva de la bañera

La curva de la bañera puede ayudar a entender la relación entre β y los mecanismos de falla a través de la vida de un componente.

Weibull provee una pista acerca de los mecanismos de falla, con las diferentes pendientes o parámetro de forma, implicado en las diferentes formas de falla.

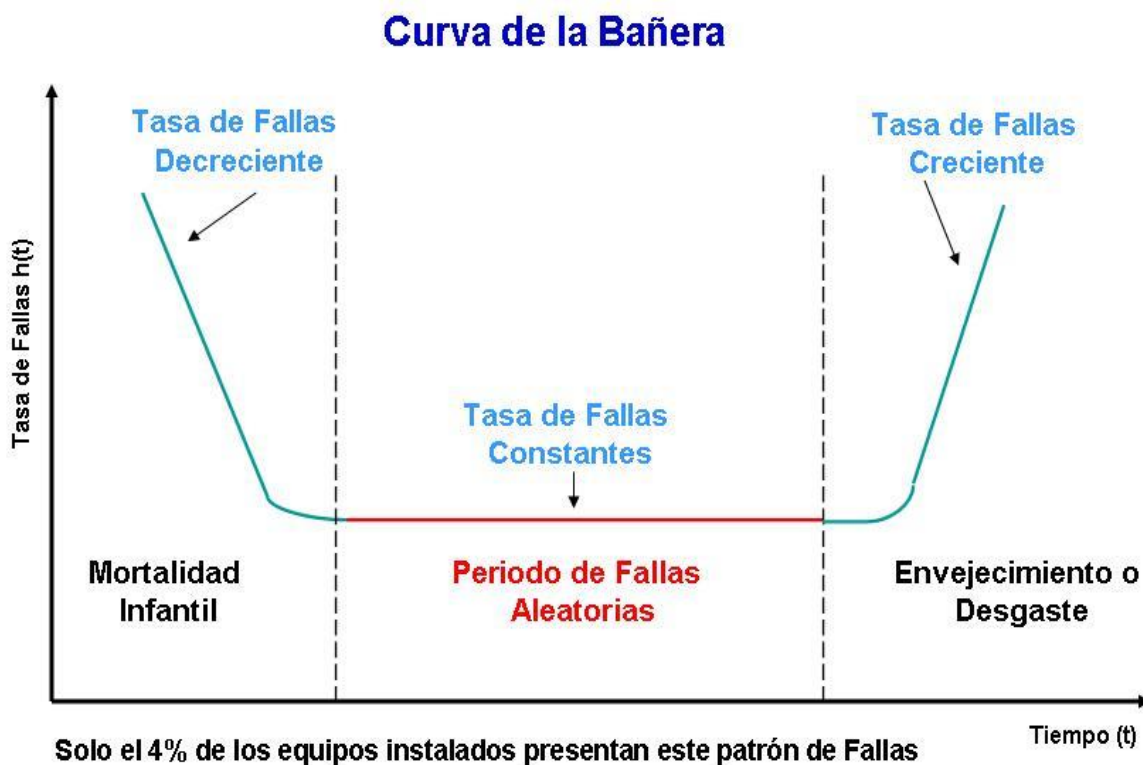


Figura 10.4 Curva de la bañera según parámetro beta (fuente: maintenancela.blogspot.com)

Por ende al obtener nuestro parámetro de forma lo podemos clasificar en este gráfico para así poder determinar el tipo de falla. En este análisis el parámetro de forma es $\beta=0,94$ por lo que se clasifica en el área de falla mortalidad infantil.

Un análisis más exhaustivo de este parámetro nos lleva a la clasificación más detallada de éste:

➤ **$\beta < 1$ Implica Mortalidad Infantil:**

Los Equipos electrónicos y mecánicos pueden iniciar con una alta rata de fallas en el inicio de proyectos y nuevos diseños, otros modos de falla son:

- Inadecuado burn - in o fuerzas, presiones ocultas.

Problemas de producción

- Problemas de Desensamble.
- Problemas de Control de calidad.
- Problemas de over hauls.
- Fallas en componentes eléctricos.

➤ **$\beta = 1$ Implica Falla Aleatoria:**

Falla independiente del tiempo o aleatorias y es igual a una distribución exponencial.

- Errores de mantenimiento / errores humanos
- Fallas debido a naturaleza, daños u objetos desconocidos, rayos.
- Mezcla de datos desde 3 o más modos de falla.
- Intervalos entre fallas.
- Over hauls no apropiados.

➤ **$1 < \beta < 4$ Implica falla por deterioro temprano:**

Si esta falla ocurre dentro del diseño de la vida es una desagradable sorpresa. Estas son muchas fallas de modo mecánicos en esta clase.

- Bajo ciclo de Fatiga.
- Corrosión.
- Erosión.
- Overhauls o partes reemplazadas con un bajo β son de costo no efectivo

- **$\beta > 4.0$ Implica deterioro rápido por edad de uso:**
 - Típicos modos de falla con mucha edad.

Por ende como conclusión general analizando el parámetro $\beta=0,94$ la falla por saturación del filtro de aire implica una falla por mortalidad infantil, que en este caso en particular es principalmente por la alta exposición a material en suspensión en el lugar de trabajo, lo que satura el filtro demasiado rápido. Como también posiblemente una falla de diseño ya que el modelo siguiente a este Bulldozer posee una mejora en el sistema de filtros y pre filtros.

11.4 Función de distribución acumulativa

Este grafico muestra la indisponibilidad del filtro de aire en el Bulldozer, si se entra por el eje x con un determinado número de horas como por ejemplo 300 hrs, se obtiene en el eje y un 50% de probabilidades. Esto significa que a las 300 horas de funcionamiento del Bulldozer hay un 50% de probabilidades que el Filtro de aire se sature y tenga que ser cambiado.

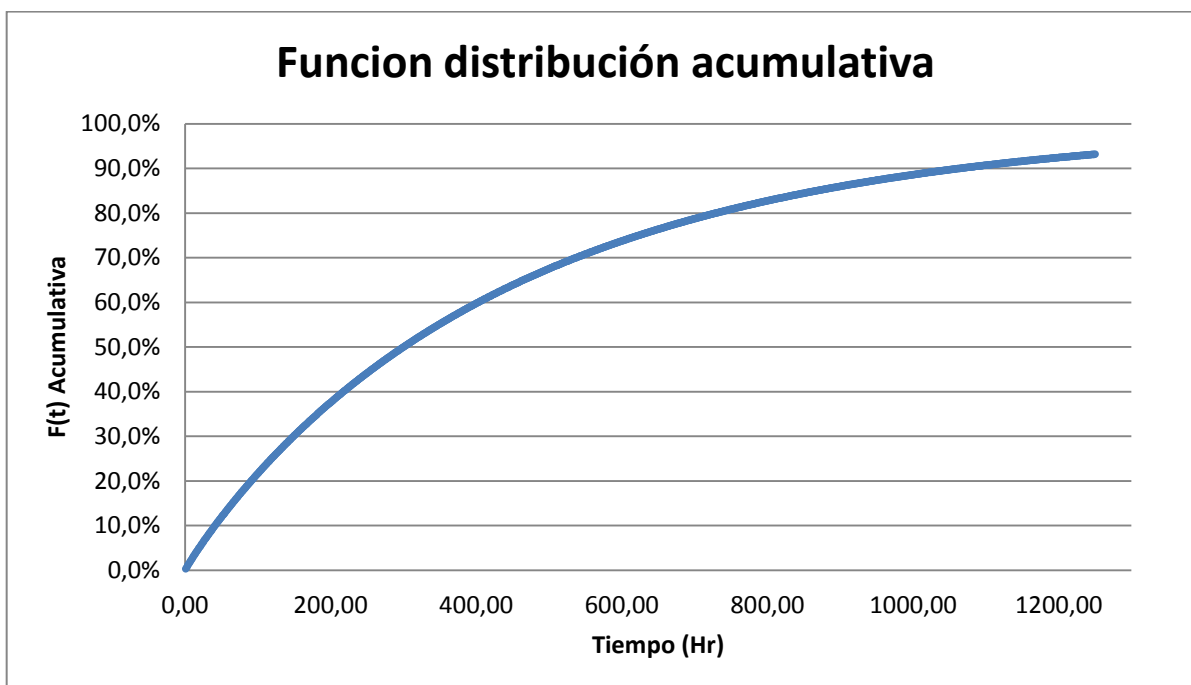


Figura 10.3 Función distribución acumulada de Weibull

11.5 Función confiabilidad a través del tiempo

Previamente calculando $R(t)$ mediante la fórmula mencionada en el marco teórico y los parámetros calculados anteriormente se obtiene la confiabilidad del filtro de aire. Esta confiabilidad se grafica durante el tiempo lo cual es muy importante a la hora de definir un mantenimiento preventivo del equipo.

Según el grado de confiabilidad que se le quiera dar al filtro de aire se podrá determinar el número de horas a la cual uno aplica el mantenimiento preventivo, como un ejemplo mirando el gráfico si se le requiere dar un 75 % de confiabilidad, esto significa que hay un 75% de posibilidades que no falle antes de ese periodo, el tiempo para ese porcentaje de confiabilidad es aproximadamente 120 horas.

Esto significa en otras palabras que en 120 horas de trabajo del Bulldozer la probabilidad que falle el filtro es del 25%.

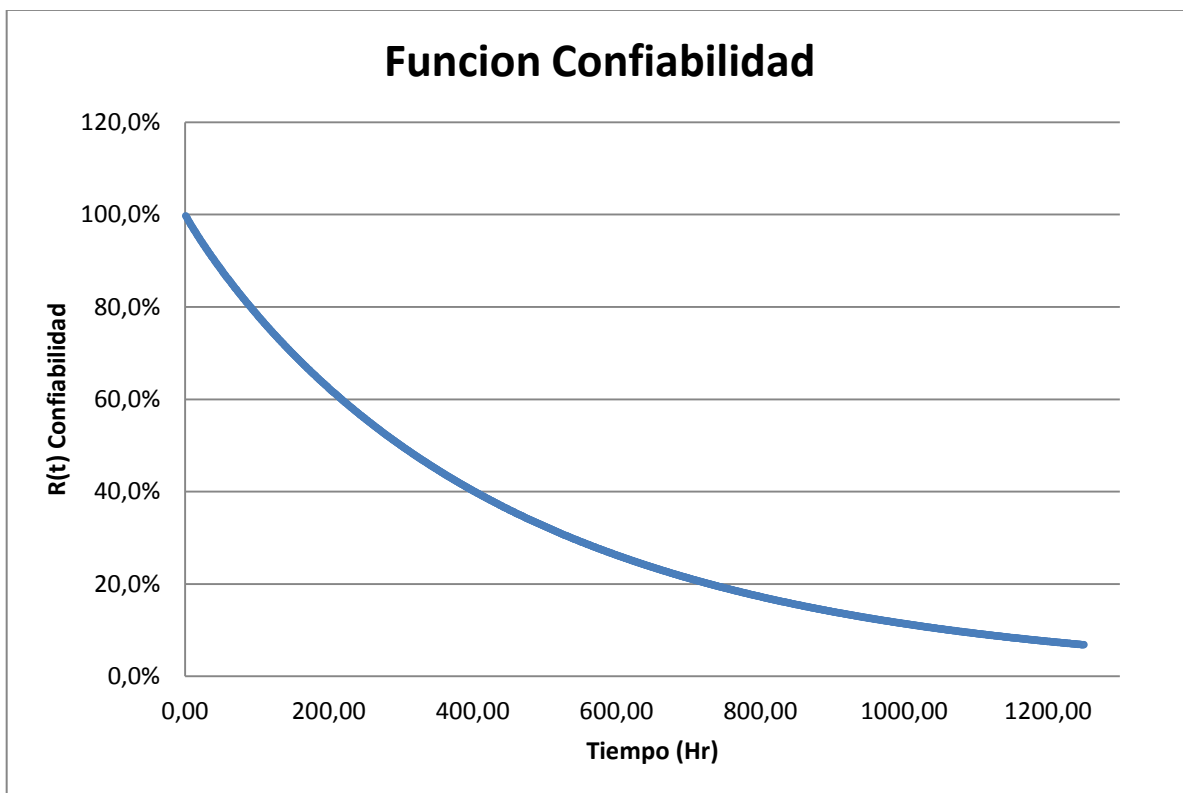


Figura 11.5 Función confiabilidad mediante Weibull

12. Mantenición preventiva

El paso final luego de realizar el diagrama de Weibull es proponer según el gráfico de confiabilidad proporcionado por el análisis de Weibull un mantenimiento preventivo en un tiempo determinado según la confiabilidad requerida por la compañía.

Previo a esto se analizará las fallas por filtro de aire programadas versus las imprevistas obtenidas de la base de datos de la Flota de Bulldozer.

- 70 Filtros Programados según pasos 1-8
- 55 Filtros No programados

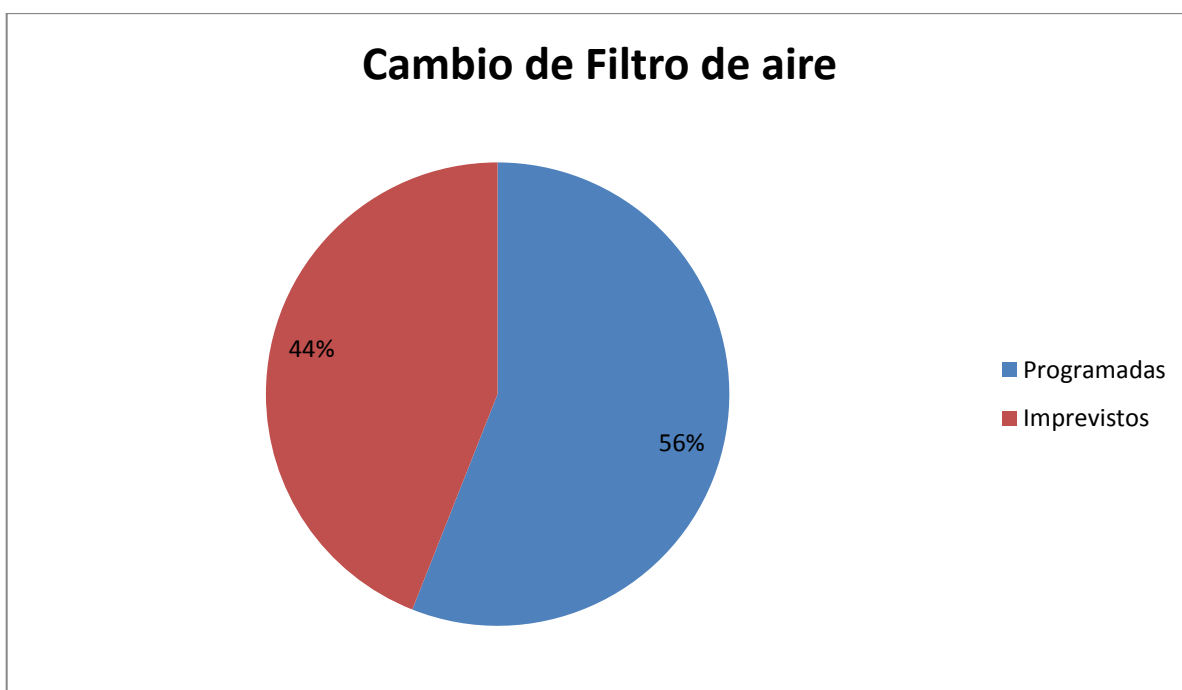


Figura 12 Mantenciones programadas v/s imprevistos filtro de aire

Este gráfico muestra claramente que hay un problema con esta falla de filtro de aire ya que los imprevistos son una gran parte del total de cambios de filtro de aire lo cual se puede corregir mediante el mantenimiento preventivo, lo cual ahorra costos, evita que esta falla cuando es imprevista le haga daño a otra pieza o sistema lo cual aumentaría notablemente los costos de mantención.

Según el diagrama de confiabilidad de Weibull y un rango de confiabilidad establecido por la empresa se procede a calcular el tiempo de mantención preventiva para el filtro de aire,

el cual se establece en 125 horas por un tema de confiabilidad y estrategia de mantención ya que la mantención programada ya existente es realizada cada 250 horas, en la cual se realizan diversas tareas preventivas y una de esas es el cambio de filtro de aire. Debido a lo anterior se está implementando un cambio de filtro de aire preventivo en medio de mantenciones programadas generales, razón por la cual fue elegido el tiempo de 125 hrs. el cual tiene una confiabilidad del 74% según Weibull.

Con este tiempo de mantención preventiva se disminuirán considerablemente los imprevistos por saturación de filtro de aire los cuales pueden provocar fallas catastróficas por el material particulado que entra al motor después de su saturación.

12.1 Diagrama estrategia de mantención

De acuerdo a los resultados obtenidos por el estudio previo se llega a la conclusión de adoptar una mantención preventiva para el filtro del aire lo cual comprende cambiar el filtro de aire a la mitad del tiempo anterior, el cual era de 250 horas. Esto queda explicado en el diagrama siguiente:

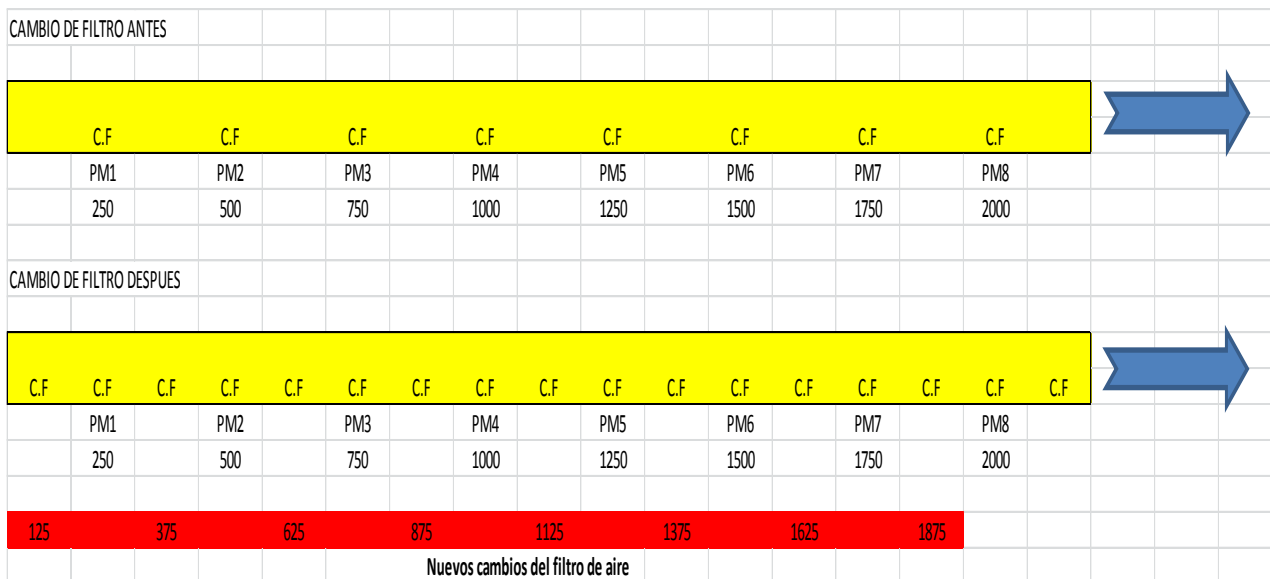


Figura 12.1 Estrategia de mantención

Estos cambios extras de filtro serán ejecutados a medida que los equipos bajen a mantenciones programadas de repuestos mayores como también por mantenciones imprevistas.

En promedio entre las 250 horas que pasan para la próxima mantención programada el equipo baja alrededor de 6 veces al taller, detenciones que se aprovecharán para realizar los cambios de filtros cada 125 horas.

13. Conclusión

En este trabajo de habilitación profesional se realizó un estudio de mantenimiento basado en la confiabilidad en el cual se analizó la base de datos de la Flota de Bulldozer CAT D10T encontrando una gran cantidad de imprevistos versus las mantenciones programadas el cual es un escenario no muy favorable para el mantenimiento de esta flota.

Luego de identificar que la flota se encuentra en una posición desfavorable en términos de mantenimiento se procede a estudiar los diferentes sistemas de la flota, sistema eléctrico, Motor, Sistema hidráulico, Get, Sistema de enfriamiento, Tren de potencia, mediante métodos de análisis de base datos como diagramas de Pareto y Jackknife, con los cuales se identificó la criticidad en términos de número de detenciones (Sistemas crónicos) de los sistemas de la flota llegando a la conclusión como sistema más crónico el motor el cual afecta directamente a la confiabilidad de la máquina, seguido del sistema hidráulico.

Para el caso de este trabajo se analizó el sistema que afecta más a la confiabilidad de la flota, mediante los mismos métodos de análisis de los sistemas, con lo cual se encontró un problema crónico en el filtro de aire y como segunda falla más crónica baja potencia, la cual puede ser relacionada directamente con el filtro de aire ya que cuando se satura provoca una falta de aire para la combustión del motor y esto baja la potencia. Luego de identificar el filtro de aire como falla a analizar y recurrente se procede a realizar un análisis funcional de todos los sistemas de la máquina dando una descripción para cada uno de ellos.

Siguiendo con el análisis de confiabilidad se realizó un análisis de modos y efectos de falla del filtro de aire para implementar una solución a la falla a analizada, lo cual dio como resultado realizar un mantenimiento preventivo al filtro de aire para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la flota.

Como método de apoyo para generar el mantenimiento preventivo del filtro se desarrolló el análisis estadístico de Weibull mediante el método de los mínimos cuadrados el cual entregó información valiosa con respecto a la confiabilidad y tiempo de cambio del filtro. Esta información que se traduce en el diagrama de confiabilidad de Weibull permitió identificar el tiempo óptimo de cambio de filtro para una determinada confiabilidad lo cual permite realizar un mantenimiento preventivo de la falla y así mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la flota, como también reducirá la probabilidad de fallas catastróficas como el ingreso de material particulado al motor.

Finalmente la estrategia de mantención a optar en la flota de bulldozer implica cambiar el filtro de aire cada 125 horas versus las 250 horas anteriores, estos cambios extras entre mantenciones programadas (cada 250 horas) serán realizados a medida que el equipo baje

al taller por fallas imprevistas por lo que se aprovecharan esas instancias para poder cambiar el filtro y así ganar tiempo. Esta estrategia aumentara la confiabilidad del filtro notablemente como también ahorrara tiempo de cambio al ser cambiado aprovechando otras fallas.

14. Sugerencias

Debido a la recurrencia de la falla, investigando otros modelos del Bulldozer CAT se encontró la versión mejorada del CAT D10T, que es el Bulldozer CAT D10T 2, este modelo a diferencia del estudiado posee dos Pre filtros de ciclón, 1 por cada filtro de aire, por lo que se deben saturar menos ya que la función principal del pre filtro de ciclón es no permitir que entren partículas muy gruesas a los filtros. Teniendo en cuenta este alcance se podría investigar si se puede hacer un rediseño del D10T con dos pre filtros y así disminuir la frecuencia de la falla, ganando tiempo de producción y reduciendo los costos de mantención.

15. Bibliografía

- Arata Adolfo (2009)

Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales

- Arata Adolfo (2005)

Manual de gestión de activos y mantenimiento

- Pascual Rodrigo (2008)

El arte de mantener, departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.

- Campbell, Jhon (1995)

Manual de confiabilidad.

- Anglo American Chile (2009)

Asset Managment

- CAT, Finning chile.(2008)

Manual Técnico Bulldozer CAT D10T

ANEXOS

ANEXO N°1

Base de datos fallas imprevistas Motor Enero- Diciembre 2013 FLOTA BULLDOZER CAT D10T.

Descripción: Este anexo entrega toda la base de datos proporcionada por los operadores de los Bulldozer mediante Jigsaw, fue filtrada y ordenada, debido a que este trabajo solo se basa en los imprevistos y necesita un análisis por sistemas.

Bulldozer #1

2CAM1001

Fecha y hora de inicio	Duración	Sistema	Síntoma
01-01-2013 16:01	0,65	Motor	Filtro de aire
20-01-2013 12:25	5,34	Motor	Baja potencia
21-01-2013 0:44	0,32	Motor	Relleno aceite motor
22-01-2013 10:06	18,78	Motor	Problema de escape
23-01-2013 11:18	0,07	Motor	Problema de escape
24-01-2013 9:59	2,87	Motor	Problema de escape
27-01-2013 3:43	1,47	Motor	Fuga combustible
28-01-2013 22:07	1,89	Motor	Relleno aceite motor
01-02-2013 13:00	1,08	Motor	Filtro de aire
03-02-2013 12:07	2,33	Motor	Admision motor
05-02-2013 11:41	0,75	Motor	Filtro de aire
09-02-2013 20:04	2,83	Motor	Partida
10-02-2013 21:09	2,56	Motor	Filtro de aire
14-02-2013 17:54	0,8	Motor	Filtro de aire
14-02-2013 22:27	2,36	Motor	Filtro de aire
22-02-2013 9:57	0,6	Motor	Filtro de aire
16-03-2013 12:25	0,6	Motor	Filtro de aire
21-03-2013 8:10	3,42	Motor	Sensor temperatura motor
04-04-2013 0:38	0,32	Motor	Filtro de aire
13-04-2013 10:07	0,47	Motor	Filtro de aire
28-04-2013 8:59	4,77	Motor	Problema de escape
29-04-2013 10:27	5,29	Motor	Problema de escape
04-05-2013 9:59	3,7	Motor	Filtro de aire
04-05-2013 16:52	1,76	Motor	Relleno aceite motor
06-05-2013 17:59	47,64	Motor	Partida
12-05-2013 7:36	3,32	Motor	Problema de escape
12-05-2013 21:22	9,11	Motor	Problema de escape
14-05-2013 4:13	0,47	Motor	Filtro de aire
14-05-2013 8:30	1,5	Motor	Relleno aceite motor

18-05-2013 19:15	7,78	Motor	Relleno aceite motor
20-05-2013 20:52	13,09	Motor	Relleno aceite motor
22-05-2013 20:43	5,2	Motor	Relleno aceite motor
24-05-2013 22:53	0,83	Motor	Relleno aceite motor
30-05-2013 8:38	1,12	Motor	Relleno aceite motor
01-06-2013 20:10	41,46	Motor	Estanque de combustible
04-06-2013 6:05	11,89	Motor	Fuga combustible
06-06-2013 23:49	0,13	Motor	Filtro de aire
08-06-2013 8:08	1,14	Motor	Relleno aceite motor
10-06-2013 8:00	0,74	Motor	Filtro de aire
12-06-2013 5:09	7,24	Motor	Codigo activo
12-06-2013 16:07	6,29	Motor	Filtro de aire
13-06-2013 3:58	10,66	Motor	Baja potencia
13-06-2013 19:38	0,89	Motor	Baja potencia
13-06-2013 21:47	16,7	Motor	Codigo activo
14-06-2013 16:32	0,01	Motor	Filtracion decantador agua
14-06-2013 20:30	30,62	Motor	Partida
30-06-2013 20:10	0,6	Motor	Baja potencia
11-07-2013 16:33	1,53	Motor	Partida
11-07-2013 20:45	2,99	Motor	Problema de escape
17-07-2013 23:46	6,53	Motor	Problema de escape
18-07-2013 11:06	2,7	Motor	Problema de escape
02-08-2013 4:21	22,97	Motor	Problema de escape
08-09-2013 17:30	1,19	Motor	Temperatura
10-09-2013 9:40	2,15	Motor	Temperatura
12-09-2013 18:49	8,13	Motor	Alternador
29-09-2013 0:53	17,27	Motor	Temperatura
02-10-2013 20:23	1,94	Motor	Tapa llenado aceite
11-10-2013 8:45	10,36	Motor	Humo radiador
22-10-2013 15:57	0,28	Motor	Fuga combustible
06-11-2013 3:20	3,22	Motor	Baja potencia

09-11-2013 23:01	1,45	Motor	Filtro de aire
05-12-2013 2:57	2,35	Motor	Partida
20-12-2013 4:59	6,25	Motor	Fuga combustible
	1	Motor	Filtro de aire
	0,8	Motor	Filtro de aire
	0,3	Motor	Relleno aceite motor
	0,5	Motor	Relleno aceite motor
	0,6	Motor	Relleno aceite motor
	0,4	Motor	Relleno aceite motor
	0,8	Motor	Relleno aceite motor

Bulldozer #2

2CAM1002

Fecha/Hora Inicio	Duración (Hr)	Sistema	Síntoma
03-01-2013 4:37	14,1	Motor	Baja potencia
12-01-2013 20:10	0,38	Motor	Partida
13-01-2013 12:38	4,97	Motor	Baja potencia
14-01-2013 7:39	6,35	Motor	Baja potencia
22-01-2013 10:00	0,25	Motor	Relleno aceite motor
24-01-2013 8:17	2,82	Motor	Problema de escape
24-01-2013 12:51	0,79	Motor	Filtro de aire
26-01-2013 9:25	1,12	Motor	Pernos tapa motor
08-02-2013 8:22	1	Motor	Relleno aceite motor
15-02-2013 8:26	4	Motor	Partida
28-03-2013 3:23	0,44	Motor	Filtro de aire
31-03-2013 4:20	2,07	Motor	Partida
07-04-2013 10:29	0,71	Motor	Partida
13-04-2013 11:15	0,72	Motor	Filtro de aire
24-04-2013 12:54	2,1	Motor	Baja potencia
28-04-2013 0:00	0,23	Motor	Filtro de aire
29-04-2013 22:26	0,34	Motor	Filtro de aire
10-05-2013 6:49	17,04	Motor	Partida
17-05-2013 5:08	1,72	Motor	Filtro de aire
17-05-2013 10:06	1,49	Motor	Filtro de aire
24-05-2013 22:33	0,25	Motor	Filtro de aire
10-06-2013 9:30	0,24	Motor	Filtro de aire
18-06-2013 10:33	16,24	Motor	Falla turbo
26-06-2013 5:41	0,52	Motor	Baja potencia
26-06-2013 9:44	7,37	Motor	Baja potencia
26-06-2013 17:43	11,51	Motor	Baja potencia
27-06-2013 6:48	7,97	Motor	Baja potencia
04-07-2013 8:56	0,48	Motor	Filtro de aire
06-07-2013 22:25	0,59	Motor	Filtro de aire

09-08-2013 8:55	4,83	Motor	Relleno aceite motor
10-08-2013 9:49	1,17	Motor	Filtro de aire
13-08-2013 13:39	0,76	Motor	Filtro de aire
26-08-2013 23:26	0,22	Motor	Filtro de aire
30-08-2013 9:10	2,28	Motor	Relleno aceite motor
06-09-2013 5:34	17,43	Motor	Fuga combustible
11-09-2013 20:11	0,34	Motor	Filtro de aire
16-09-2013 14:00	2,74	Motor	Problema de escape
19-09-2013 19:47	0,96	Motor	Filtro de aire
19-09-2013 20:56	4,35	Motor	Partida
30-09-2013 15:48	0,4	Motor	Filtro de aire
03-10-2013 21:53	7,77	Motor	Fuga combustible
07-10-2013 15:07	2,19	Motor	Relleno aceite motor
08-10-2013 19:25	0,84	Motor	Motor se detiene
08-10-2013 22:36	2,91	Motor	Filtro de aire
09-10-2013 21:36	2,53	Motor	Partida
10-10-2013 11:00	0,5	Motor	Motor se detiene
10-10-2013 22:39	2,43	Motor	Baja potencia
11-10-2013 10:13	2,24	Motor	Motor se detiene
02-11-2013 22:37	0,48	Motor	Filtro de aire
13-11-2013 17:39	0,37	Motor	Filtro de aire
22-11-2013 10:06	0,13	Motor	Filtro de aire
05-12-2013 23:17	5,91	Motor	Problema de escape
06-12-2013 6:03	6,11	Motor	Problema de escape
09-12-2013 1:20	5,25	Motor	Fuga combustible
13-12-2013 20:22	0,21	Motor	Filtro de aire
17-12-2013 20:10	0,72	Motor	Filtro de aire
29-12-2013 14:00	4,62	Motor	Baja potencia
	0,3	Motor	Filtro de aire
	0,14	Motor	Relleno aceite motor
	0,24	Motor	Relleno aceite motor

Bulldozer #3

2CAM1003

Fecha/Hora Inicio	Duración (Hr)	Sistema	Síntoma
03-01-2013 11:12	0,41	Motor	Baja potencia
04-01-2013 22:20	0,94	Motor	Baja potencia
05-01-2013 14:28	28,06	Motor	Problema de escape
09-01-2013 11:25	0,48	Motor	Filtro de aire
30-01-2013 10:32	0,18	Motor	Filtro de aire
16-02-2013 0:18	0,33	Motor	Filtro de aire
01-03-2013 19:28	14,03	Motor	Baja potencia
16-03-2013 14:00	24,9	Motor	Partida
14-04-2013 12:10	0,08	Motor	Relleno aceite motor
22-04-2013 10:43	12,1	Motor	Problema de escape
23-04-2013 8:10	0,71	Motor	Problema de escape
14-05-2013 8:29	3,36	Motor	Partida
22-05-2013 9:08	4,89	Motor	Problema de escape
28-05-2013 8:23	2,37	Motor	Partida
01-06-2013 1:15	0,68	Motor	Filtro de aire
01-06-2013 15:40	24,44	Motor	Relleno aceite motor
06-06-2013 12:11	4,57	Motor	Problema de escape
08-06-2013 18:44	4	Motor	Problema de escape
12-06-2013 21:45	2,42	Motor	Partida
13-07-2013 20:39	1,14	Motor	Filtro de aire
18-07-2013 10:06	3,34	Motor	Problema de escape
24-07-2013 20:10	2	Motor	Filtro de aire
26-07-2013 14:39	0,56	Motor	Filtro de aire
03-08-2013 18:47	29,43	Motor	Temperatura
17-08-2013 22:00	0,49	Motor	Filtro de aire
19-08-2013 10:56	0,56	Motor	Motor se detiene
22-08-2013 18:03	0,52	Motor	Baja potencia
22-08-2013 20:10	0,61	Motor	Baja potencia
24-08-2013 1:15	24,89	Motor	Baja potencia

28-08-2013 13:01	42,17	Motor	Baja potencia
30-08-2013 8:23	1,32	Motor	Relleno aceite motor
30-08-2013 22:43	4,82	Motor	Baja potencia
01-09-2013 4:36	22,44	Motor	Baja potencia
05-09-2013 20:27	1,03	Motor	Baja potencia
16-09-2013 13:03	1,57	Motor	Calibracion
17-09-2013 18:13	2,93	Motor	Baja potencia
19-09-2013 3:06	7,38	Motor	Baja potencia
20-10-2013 19:10	1,7	Motor	Baja potencia
25-10-2013 23:00	0,09	Motor	Filtro de aire
29-10-2013 10:31	2,16	Motor	Filtro de aire
06-11-2013 12:53	52,18	Motor	Baja potencia
10-11-2013 23:07	0,22	Motor	Filtro de aire
02-12-2013 19:17	4,5	Motor	Baja potencia
08-12-2013 4:13	0,85	Motor	Baja potencia
16-12-2013 20:40	0,57	Motor	Filtro de aire
22-12-2013 7:24	28,62	Motor	Baja potencia
26-12-2013 10:03	0,97	Motor	Filtro de aire
26-12-2013 18:49	11,66	Motor	Entrada materia particulado
29-12-2013 11:21	1,7	Motor	Filtro de aire

ANEXO N°2

Procedimiento Desarrollo de Tácticas Mantenimiento Asset Managment

Descripción: Este anexo entrega toda la estructura necesaria para realizar el análisis de un sistema o falla de algún activo específico.

1 CONTROL DE CAMBIOS


Número	Fecha	Realizado por	Versión	Aprobada por
1	13-9-2013	R.Hinrichsen	Borrador	
2	16-10-2013	R.Hinrichsen	Para aprobación	

2 DEFINICIONES Y ABREVIACIONES

Nº	Abreviación	Concepto	Definición / Descripción
1		Ciclo de Vida	Comienza con la identificación de la necesidad de un activo y termina con la disposición final responsable del activo.
2		Plan de Mantenimiento	Es el registro de todas las actividades programadas de mantenimiento desarrolladas para la táctica de mantenimiento escogida que contiene información como duraciones, frecuencias para cada activo.
3		Mandatorio	Trabajos obligatorios requeridos producto de requerimientos legales o corporativos.
4		Estrategia	Plan a largo plazo que cubre todos los aspectos de la gestión del mantenimiento e ingeniería, entrega las direcciones para los departamentos de ingeniería y mantenimiento y contiene los planes de acción para lograr el estado futuro deseado la función de mantención.
5		La Política	Política de Asset Maintenance Management Anglo Copper
6		Activo	Los recursos físicos de un negocio tales como plantas, infraestructura, flotas o sus componentes.
7		Componente	Parte constituyente de un activo, usualmente modular y reemplazable. Ocasionalmente están numerados dependiendo de su criticidad y su aplicación e intercambiabilidad.
8		Análisis de Criticidad de Activos	Proceso para determinar y clasificar la criticidad de cada activo en su aplicación por medio de la evaluación de su impacto en el negocio que una

			falla pudiese ocasionar en ámbitos de mantenimiento, producción, seguridad, calidad y medioambiente.
9		Análisis de criticidad de componentes	Proceso para determinar y clasificar la criticidad de un componente de un activo en su aplicación por medio de la evaluación de su impacto en el negocio que una falla pudiese ocasionar en ámbitos de mantenimiento, producción, seguridad, calidad y medioambiente.
10		Falla	Fin de la habilidad de un activo de desempeñar su función requerida en un estándar esperado.
11		Modo de Falla	Cualquier evento simple que puede generar una falla funcional
12	CBM	Mantenimiento Basada en la Condición	Tipo de Táctica en donde se realizan inspecciones para verificar la condición de un equipo. Los resultados indicarán o iniciaran las tareas de mantenimiento correctivo posteriores.
13		Mantenimiento Basada en Uso	Tipo de Táctica en donde las actividades de mantenimiento son ejecutadas en determinados intervalos de uso (días, distancia, tonelaje, horas, ciclos, eventos, etc.)
14		Correr a la Falla	Táctica de mantenimiento en donde se le es permitido al equipo operar hasta fallar.
15		Mejoras de diseño	Táctica en la cual el equipo es modificado para mejorar su desempeño, eliminando o reduciendo las consecuencias de fallas.
16		Programa de Mantenimiento	Lista de las actividades de mantenimiento planeadas y su secuencia de ocurrencia basadas en prioridades en un periodo de tiempo determinado.
17		Intervalo P-F	Es el intervalo entre la ocurrencia de una falla potencial y el decaimiento hacia una falla funcional.
18		Tarea de hallazgo de falla	Tarea de mantenimiento preventivo realizada en un intervalo de tiempo en el cual una falla oculta a ocurrido

19		Datos Maestros	Datos asociados con los activos en Ellipse que describen el activo y sus componentes. Esto
----	--	----------------	--

	AngloAmerican		también puede incluir antecedentes como material, localización funcional, listas de tareas.
20		Táctica de Mantenimiento	Proceso estructurado para determinar las tareas estratégicas de mantenimiento de un equipo determinado con el fin de asegurar su continuidad operacional y el cumplimiento del desempeño esperado en el contexto operacional.
21		Registro de Activos	Es el registro de activos asociado a los datos maestros en Ellipse. Es el listado que define todos los activos en una operación. En este contexto se refiere al listado de activos de Ingeniería.

3 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es entregar los principios para el desarrollo de las Tácticas de Mantenimiento de acuerdo a los estándares entregados por el GTS20 en su referencia AA_RP_02090100: Maintenance Tactics.

Su finalidad es entregar un método efectivo que aplique a todas nuestras operaciones. A través de la aplicación de estas acciones, las operaciones estarán habilitadas para seleccionar las tácticas de mantención apropiadas y así establecer un Plan de Mantenimiento de sus activos efectivo que permita lograr el desempeño y cumplir con los requerimientos necesarios a lo largo de su ciclo de vida.

Por medio de la aplicación de estos lineamientos se busca evitar o disminuir los riesgos en seguridad, salud, medio ambiente, impacto en el negocio y en el área técnica, mediante un adecuado análisis de criticidad y determinación de las actividades que apunten al mayor beneficio de la organización.

Los resultados de esta aplicación deben ser registrados en el sistema ERP correspondiente, actualmente Ellipse. Este documento entrega detalles del cómo se realiza la evaluación de criticidad y los resultados. Así también como se elige la táctica de mantención para cada equipo.

Las tácticas de mantención y los procedimientos aquí expuestos deben ser sometidas a un ciclo de revisiones regulares y pueden ser modificables en función del mejoramiento continuo de Anglo Copper.

4 REQUERIMIENTOS

Los requerimientos para el proceso de generación de las tácticas de mantenimiento están definidos en los siguientes ítems.

4.1 Diagrama de flujo

El flujo para la definición de las tácticas de mantenimiento se puede observar en la siguiente figura:

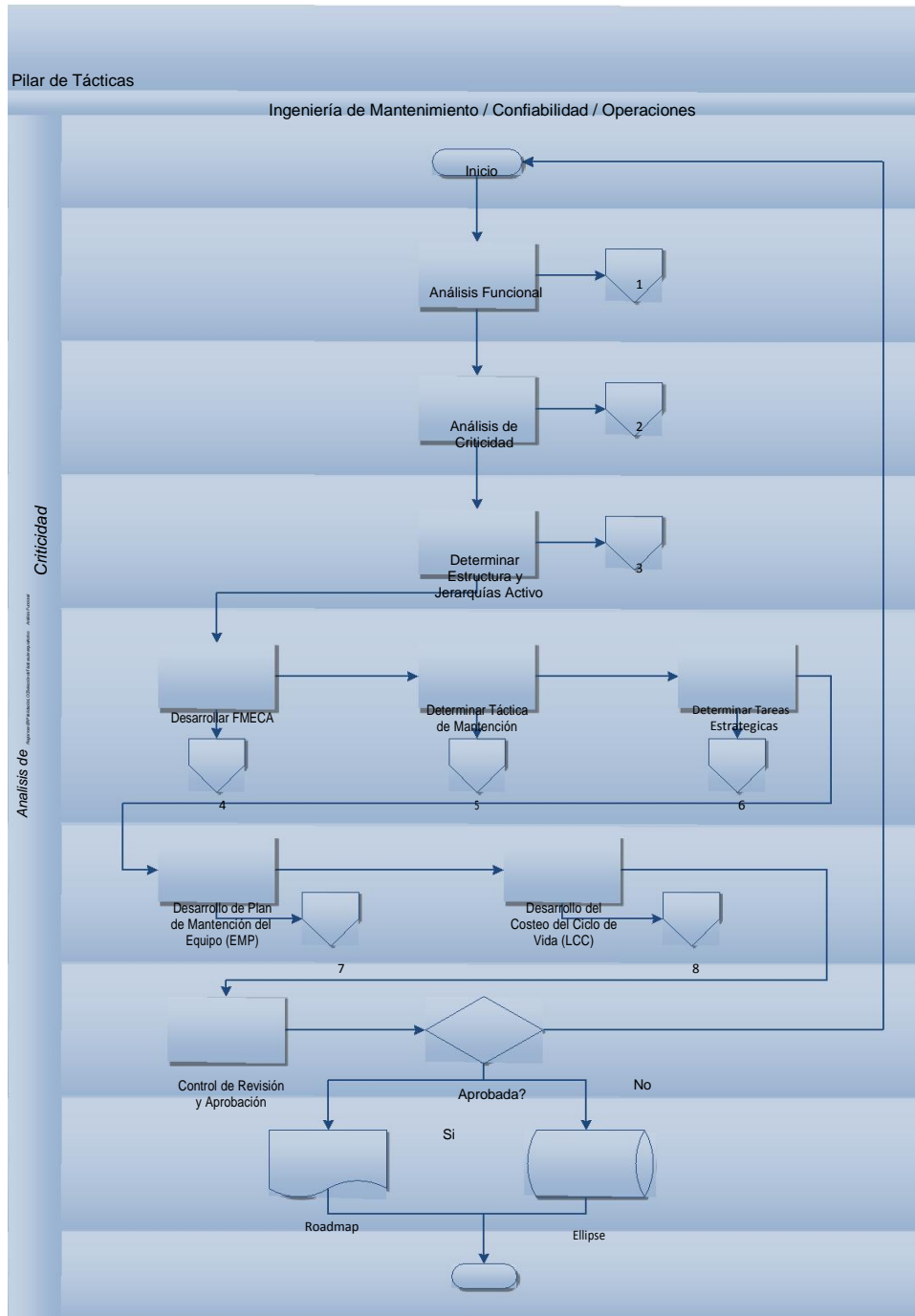


Ilustración 1. Diagrama de Flujo General Tácticas

4.2 Enfoque para la generación de Tácticas

El objetivo de contar con un enfoque para las tácticas es establecer y aplicar las mejores y más apropiadas técnicas para realizar el correcto mantenimiento a un componente o equipo considerando su desempeño, programación de mantención, el tipo de falla cuando la situación lo amerite; todo esto considerando que con ellos se deben lograr las metas de productividad al más bajo costo.

El enfoque para la generación de tácticas detalla las acciones a realizar para determinar las tácticas de mantenimiento, basado en un análisis de criticidad que de acuerdo a las reglas establecidas por la compañía determinará el enfoque a aplicar.

Un parámetro muy importante para establecer una correcta Estrategia de Mantenimiento es el rendimiento del mantenimiento y éste se refleja en dos puntos de vista diferentes:

- Hacer Mantenimiento Efectivo: Este tipo de mantenimiento se concentra en que tan bien garantiza el mantenimiento realizado que los activos continúen haciendo lo que los usuarios desean que haga. Esta visión es propia de los usuarios del equipo o componente.
- Hacer Mantenimiento Eficiente: Este es aquel que se concentra en que tan bien se usan los recursos de mantenimiento. Es de mayor interés para los Gerentes o Altos Mandos

El enfoque de mantenimiento hace referencia a la efectividad del mantenimiento y se evalúa con medidas de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad.

- La Disponibilidad mide el tiempo en que se puede utilizar una maquina o equipo.
- La Confiabilidad es determinada por el número de fallas. Es la probabilidad de que no ocurra una falla en un determinado tiempo, y se mide mediante el MTBF.
- La Mantenibilidad es la probabilidad de llevar a cabo un servicio de mantenimiento en un tiempo específico. Se mide en MTTR, es decir por los tiempos promedios de reparación.

Todo proceso de mantención busca disminuir los MTTR (tiempo medio de reparación) y aumentar los MTBF (tiempo medio entre ocurrencia de falla) de tal manera de hacer al equipo lo más productivo posible y al más bajo costo.

En general, el enfoque de mantenimiento mejora la mantenibilidad siguiendo los siguientes criterios:

- Preparar y planificar las tareas de mantenimiento fuera de línea
- Estandarizar los repuestos
- Estandarización de herramientas y equipos (por tamaños, funciones, etc.)
- Rediseñar y modificar equipo para mejorar el acceso
- Mejorar la manipulación de sub-ensamblajes y componentes
- Rediseñar el equipamiento para reducir los requisitos del nivel de habilidades
- Agilizar los procedimientos y tareas de mantenimiento
- Asegurar que la numeración del equipo sea efectiva y precisa
- Eliminar la necesidad de ajustes delicados y calibraciones
- Asegurar que los componentes y módulos sean intercambiables

- Capacitar al personal y seguir capacitándolos.

Este enfoque ciertamente es único para cada operación y debe ser desarrollado y documentado por ellos. Como este enfoque está basado en los principios del negocio para cada una de las criticidades determinadas, puede incluir pero no está limitado a:

1. Política de repuestos
2. Requerimientos de entrenamiento
3. Confiabilidad
4. Costos
5. Perfil de enfoque de tácticas
6. KPIS que serán utilizados y sus intervalos
7. RCA y condiciones de aplicación
8. Frecuencia de revisión de tácticas
9. Criterios para el desarrollo de las tareas

En la siguiente tabla se describen, a modo de ejemplos, criterios a ser considerados para el desarrollo de las tácticas para cada una de las diferentes criticidades.

	Criticidad de los equipos		
Ítem	A	B	C
Definición	Equipo tiene impacto en la dinámica del negocio	Una falla en el equipo puede eventualmente causar un impacto en el negocio	Falla en el equipo no tiene impacto en el negocio o las consecuencias son tolerables
Estrategia	Máxima confiabilidad	Balance entre confiabilidad y costos	Vida máxima, mínimo costo
Política de repuestos	Recomendaciones del fabricante y los análisis locales son usados para asegurar existencias	Solo repuestos con tiempos largos de entrega se mantienen. Se trabaja con colaboración de OEM	Repuestos bajo consignación o compra cuando se requiere
Entrenamiento	Todos los técnicos son entrenados y calificadas sus competencias	Capataz entrenado y calificado en las competencias, el entrena a los mantenedores	No existe entrenamiento formal, el personal se entrena por medio de la experiencia

Requerimientos de soporte	Se requiere de soporte de personal del OEM en terreno	Mantenedores seniors son requeridos	No hay requerimientos adicionales
Confiabilidad	Elementos importantes que determinan la estrategia	Considerados en sus términos de costos dentro de la estrategia	Estrategia está determinada por los recursos disponibles
Costo	Considerado como un punto secundario	Elemento más importante para determinar la estrategia de mantenimiento	Elemento principal para la determinación de la estrategia
Perfil de enfoque de la táctica	Monitoreo de Condición como más sea posible	Balance entre monitoreo de condiciones y mantenimiento programado	Monitoreo de condiciones limitados con un alto porcentaje de correr a la falla
KPI utilizados	MTBF y disponibilidad, semanales	MTBF y disponibilidad, mensuales	MTBF y disponibilidad, cada 3 meses
RCA	Nivel 1 para todo evento de detención mayor a 1 hora	Nivel 2 para detenciones mayores a 2 horas y Nivel 1 para mayores a 5 horas	5 porqués, Realizados por los mantenedores para todas las fallas
Frecuencia revisión Tácticas	Al menos una vez al año cuando el desempeño no es logrado	Cada dos años o cuando el desempeño no se logra	Cuando se detecta la ocurrencia de fallas similares o la vida no es alcanzada
Criterio para desarrollo de tareas	Plan de mantenimiento para cada equipo y sus componentes. Tareas desarrolladas en detalle	Plan de mantenimiento por equipo	Tareas recomendadas por el fabricante

Cada una de las etapas del flujo general del proceso se describe en el siguiente capítulo.

5 PROCESO DE GENERACIÓN DE TÁCTICAS

El proceso para la generación de tácticas, y de acuerdo al diagrama de flujo presentado en la Ilustración 1. Diagrama de Flujo General Tácticas constará de las etapas que se desarrollan a continuación. El detalle de los diagramas de flujo para cada etapa

5.1 Análisis funcional

En el proceso de determinación de las tácticas, y con el fin de establecer las actividades necesarias para la prevención de los modos de fallas de los activos, se requiere en primer lugar definir la función del activo y los requerimientos de desempeño del activo.

5.1.1 Determinar la función

Cada activo físico tiene una función a desempeñar, comúnmente esto aparece como fácil definir, a pesar que los componentes y subsistemas pueden desempeñar múltiples funciones. Por lo tanto, las funciones se pueden categorizar en:

Función Primaria: Esto es para lo que el activo existe en primer lugar y usualmente es evidente a partir de su nombre. Un camión de 250 ton, tiene la función primaria de transportar 250 ton de mineral desde la mina al chancado.

Función Secundaria: Además de su función primaria, los equipos pueden tener un variado número de funciones secundarias también. La falla de estas funciones secundarias puede ser tan severas como el de la función primaria. Consideremos por ejemplo, el sistema de frenos hidráulicos de una máquina, una de sus funciones es justamente hacer eso, frenar la máquina cuando se requiera, y otra función vital es aplicar los frenos y detener la máquina en caso que el motor falle. Ambas funciones deben ser cubiertas en orden de mantener el equipo trabajando y requerirá de tareas de mantenimiento.

Función de protección: A medida que los procesos y equipos crecen en complejidad, crecen también los modos en que pueden fallar y las consecuencias de estas fallas. Para mitigar estas potenciales fallas, es común el uso de dispositivos de protección, típicamente incluyen alertas a los operadores de condiciones no normales, apagado automáticos o saca de operación una función que ha fallado. El registro de las funcionalidades se debe realizar en la herramienta que sea implementada para estos efectos.

5.1.2 Requerimientos de desempeño

Una vez establecido las funciones de un activo y/o de sus subsistemas, es necesario definir el nivel de desempeño esperado para ellos.

El propósito de esto es el definir los requerimientos de mantención que son necesarios para cumplir con los objetivos organizacionales en el contexto operacional. Es importante recordar que similares activos pueden dar distintos niveles de desempeño en distintos contextos.

Los estándares de desempeño deben incluir:

1. Estándares de calidad del desempeño
2. Estándares ambientales
3. Estándares de seguridad
4. Estándares ergonómicos
5. Estándares de desempeño múltiple, como calentar 500kg de un producto desde temperatura ambiente a su temperatura de ebullición 200° en una hora (peso, temperatura, tiempo)
6. Estándares absolutos, ejemplo capacidad de contener un líquido
7. Estándares variables, como transportar mineral a una velocidad entre 10 y 40 km/h
8. Límites superiores e inferiores: carga de 20 +/- 1 ton.

En muchos casos, el equipo puede entregar los niveles requeridos con un mantenimiento apropiado. La situación se puede dificultar cuando lo requerido excede las capacidades físicas del activo, en ese caso, no hay cantidad de mantenimiento tal que pueda llevar al activo a cumplir los niveles de desempeño.

En ese caso, es necesario considerar como alternativa modificaciones o rediseño.

5.1.3 Registro de Equipos

Se debe hacer un análisis para cada equipo crítico cumpliendo, por lo menos, si somos capaces de responder las siguientes preguntas:

1. Sabemos qué equipos y activos necesitamos para realizar la mantención?
2. Contamos con toda la información necesaria para mantenerlos?
3. Hemos configurado bien Ellipse para que funcione adecuadamente para nosotros, o simplemente vamos a trabajar para Ellipse?

5.2 Análisis de criticidad

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El mejoramiento de la confiabilidad de cualquier equipo o sus componentes, está asociado a cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, del proceso, del diseño y del mantenimiento. Lamentablemente difícilmente se puede disponer de recursos ilimitados para mejorar al mismo tiempo estos cuatro aspectos.

El Análisis de Criticidad busca responder las siguientes preguntas:

- Cómo establecer que un sistema o equipo es más crítico que otro?
- Qué criterio se debe utilizar?
- Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio?

Esto se hace generando una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el de menor criticidad, diferenciando tres zonas de criticidad: alta, media y baja. Una vez identificadas esas zonas es mucho más fácil diseñar una estrategia para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciándolas en el conjunto de alta confiabilidad.

La criticidad de los equipos se calcula de la misma forma que la Matriz de Riesgo de Anglo plc., siendo la criticidad de los equipos definida como:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia de Falla}$$

Para asignar cifras se puede recurrir a la Matriz de Criticidad o Tablas de consecuencia las cuales deben estar alineadas con los criterios de Negocios.

Este Análisis se puede hacer a nivel de sistema o equipo. Una vez definidas las criticidades se pueden analizar los activos individuales que componen el sistema. Así se puede entender donde se deben concentrar los esfuerzos.

Frecuencia de Falla.

Esta frecuencia está íntimamente relacionada con la Probabilidad de que va a fallar.

Para determinarla es sumamente necesario evaluar el MTBF del equipo. Si esto no es posible se debe depender de la experiencia de los mecánicos, supervisores y mantenedores en general.

Las frecuencias están determinadas por la matriz de riesgos corporativa:

Probabilidad	E jemplos Considerar eventos actuales y desvíos
5 Casi segura	El evento no deseado ha ocurrido frecuentemente, ocurre del orden de 1 o más veces por año y es probable que se repita en un período de 1 año
4 Probable	El evento no deseado ha ocurrido esporádicamente, ocurre del orden de menos de 1 vez por año y es probable que se repita dentro de un período de 5 años
3 Posible	El evento no deseado ha ocurrido alguna vez en el negocio, o podría ocurrir dentro de un período de 10 años
2 Improbable	El evento no deseado ha ocurrido alguna vez en el negocio, o podría ocurrir dentro de un período de 20 años
1 Casi imposible	No se conoce registro del evento no deseado en el negocio, o es altamente improbable de que ocurra dentro de un período de 20 años

Consecuencia de la Falla:

Estas dependen del tipo de equipo al cual afecte o donde se produzca la falla. Sin embargo esa falla puede tener consecuencias en varias áreas de la faena, por ejemplo detención de producción, impacto financiero, seguridad y cumplimiento con el medio ambiente.

De acuerdo a esto último existen 5 tablas de consecuencia de Anglo Copper que se categorizan de la siguiente manera:

- Impacto en mantenimiento
- Impacto en producción
- Salud y seguridad
- Impacto ambiental

- Cumplimiento legal y reglamentario

El detalle de las consecuencias determinado por la matriz de riesgos corporativa es, y se puede revisar en detalle en el anexo 1 que incluye completa la matriz.

Tipo de Pérdida <small>Fuente a otro Tipo de Pérdida, identifique y evalúe adecuadamente</small>	1 No significativo	2 Menor	3 Moderado	4 Mayor	5 Catastrófico
(S/SO) Daño a las Personas (Seguridad / Salud Ocupacional)	Primeros Auxilios / Exposición a un riesgo menor para la salud	Tratamiento Médico / Exposición a un riesgo mayor para la salud	Lesión con tiempo perdido / Impacto reversible para la salud	Una fatalidad o pérdida en la calidad de vida / Impacto irreversible para la salud	Múltiples fatalidades / Impacto a la salud con consecuencia fatal
(IA) Impacto Ambiental	Daño mínimo al medioambiente. Incidente nivel 1	Daño evidente al medioambiente. Incidente nivel 2 remediable a corto plazo	Daño serio al medioambiente. Incidente nivel 2 remediable dentro de LDM	Daño importante o mayor al medioambiente. Incidente nivel 2 remediable posterior a LDM	Daño extremo al medioambiente. Incidente nivel 3 irreversible
(IN/DM) Interrupción del Negocio / Daño Material & Otras Pérdidas	Sin interrupción en la operación / 0% de pérdida de la utilidad operacional según budget o de activos en libro	Breve interrupción en la operación / 10% de pérdida de la utilidad operacional según budget o de activos en libro	Detención operacional parcial / 20% de pérdida de la utilidad operacional según budget o de activos en libro	Pérdida operacional parcial / 20% de pérdida de la utilidad operacional según budget o de activos en libro	Pérdida operacional sustancial o total / 25% de pérdida de la utilidad operacional según budget o de activos en libro
(LAR) Aspectos Legales y Regulatorios	Asuntos legales de relevancia baja	Asuntos legales de relevancia menor no conformidad e infracciones a la ley	Infracciones a la ley, Investigación / Reporte a la Autoridad, Juicio y/o posible pena moderada	Infracción mayor a la ley, Juicio y penas considerables	Juicios y penas muy considerables, múltiples pleitos legales y encarcelamientos
(R/S/C) Impacto en Reputación / Social / Comunidades	Impacto leve - Puede existir conocimiento público pero no preocupación	Impacto limitado - Preocupación de las comunidades locales	Impacto considerable - Preocupación pública a nivel regional	Impacto nacional - Preocupación pública a nivel nacional	Impacto internacional - Atención pública a nivel internacional

La tabla de consecuencia del Impacto en el Mantenimiento cubre el costo de mantenimiento además del tiempo de reparación (MTTR).

Se debe tener muy claro que el costo involucrado es el costo de reparación y no considera el Costo de Oportunidad perdido pues este se considera en la Tabla de Impacto en la Producción.

Cuando se consideren las consecuencias para la Salud y Seguridad, se debe evaluar solo el riesgo asociado con la falla del equipo, no el riesgo de la tarea para arreglar el equipo después de que ha fallado. La criticidad de la tarea se debe hacer en forma separada del Análisis de Criticidad de los Equipos.

Jamás se debe confundir la Criticidad de la Falla con la Criticidad de la Tarea.

Con el tiempo y la experiencia estos valores se pueden personalizar para que sean particulares de cada faena.

Lo ideal es que todas las áreas (mantenimiento, operaciones, cadena de suministro, SHEQ, etc.) hagan lo mismo y que estén alineadas.

5.2.1 Preparación para el análisis de criticidad

Para realizar un adecuado análisis de criticidad es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Tener el modelo de criticidad de la faena disponible y hacer copias.

- Elegir una sección adecuada de la organización y exportar el Registro de Equipos desde Ellipse en la Hoja de Cálculo de Criticidad (a través de un informe adecuado).
- Imprimir copias del Registro de Equipos relevantes o usar un proyector de datos para visualizar la Hoja de Cálculos de la Criticidad.
- Reunión de Planificación: programar una reunión con los representantes de Producción, Mantenimiento, Planificación y Cadena de Suministro para realizar un análisis de criticidad. Tratar de restringir la sesión a bloques de 2 horas por vez.
- Revisión: tratar de revisar la sección en cuestión antes del análisis y verificar el Registro de Equipos de Ellipse.
- Los resultados de este análisis se deben guardar en 2 posiciones de Ellipse:
- El Grupo de Criticidad de los Equipos se ingresa como una Clasificación en los equipos y componentes.
- Los resultados individuales de la Probabilidad y consecuencia junto con la Criticidad numérica del equipo se ingresan en las Placas de Identificación del equipo en cuestión.

Como un requisito importantísimo para los equipos es que en las Placas de Identificación se deben crear los siguientes campos para cada clase de equipo.

- Probabilidad de Falla de los Equipos
- Consecuencia de la Falla
- Criticidad de los Equipos

5.2.2 Nivel de análisis

El nivel de Análisis depende del equipo o componente, de su criticidad y complejidad, además del nivel donde se produzcan la mayor cantidad de fallas, gravedad de las mismas y de las consecuencias que puedan acarrear.

Un error común es llevar el análisis a un nivel demasiado bajo en la jerarquía. Así se tiene que mientras más bajo se esté, más difícil será definir los estándares de rendimiento.

También, mientras más bajo, más difícil es visualizar el análisis y las consecuencias de las fallas. De este modo más difícil será decidir que componente pertenece a que sistema.

Algunas fallas pueden causar que muchos otros sub-sistemas se detengan simultáneamente, entonces si cada sub-sistema se analiza por sí solo, las fallas de este tipo se repetirán. Mientras más bajo el nivel se hace más difícil manejar los ciclos de protección y control.

Es preferible comenzar el análisis desde arriba, desde lo más global. Además los niveles inferiores de fallas aún se pueden identificar desde los niveles del equipamiento superior.

5.2.3 Criticidad de los componentes

Dependiendo del enfoque de tácticas de mantenimiento a utilizar, la criticidad de los componentes asociados a los equipos puede ser también determinado para determinar cuál de ellos son críticos para la operación del activo. Es recomendable hacerlo por lo menos para los equipos críticos "A" y "B" y debe hacerse de la misma manera determinando probabilidad de falla y consecuencias.

Algunos ejemplos de consecuencias que se pueden contemplar:

- Complejidad del mantenimiento, cuanto tiempo o difícil puede ser restaurar la función
- Costo del mantenimiento, cuánto costará la reparación
- Impacto en producción, parcial o completo

La probabilidad está determinada por el historial de fallas registrado en Ellipse, experiencia del personal y antecedentes del OEM.

Algunos ejemplos de criterio:

- Muy improbable
- Improbable
- Probable
- Alguna certeza
- Certeza

Es importante notar que en algunos casos la falla de un componente puede no tener un impacto inmediato en el desempeño completo del activo pero con posterioridad puede provocar una consecuencia desastrosa.

La probabilidad de la falla puede cambiar también con el tiempo, y de esa misma manera la táctica de mantenimiento necesaria para mitigar el riesgo, en algunos casos es útil considerar los siguientes comportamientos en el tiempo.

- Envejecimiento (Peor Viejo)
 - Aumento de fallas relacionados con la edad
 - Es el menos común de todos
 - Ejemplos son impulsores de bombas, revestimientos
- Bañera
 - Alta tasa inicial y al final de la vida útil
 - Es la combinación de “peor nuevo” y “peor viejo”
 - Ejemplo clásico son sistemas electromecánicos simples
- Envejecimiento lento
 - Aumento gradual de la probabilidad de falla con la edad
 - Asociado comúnmente con corrosión o creep
 - Usualmente en equipos en contacto con algún producto químico
 - Ejemplo: cañerías, neumáticos, componentes estructurales
- Mejor nuevo
 - No asociado con la edad, a excepción del inicio de la vida
 - Luego continua en forma constante
 - Ejemplo típicos son componentes hidráulicos, neumáticos y motores
 - Constante
- Fallas aleatorias, no relacionadas con la edad
 - Típico en sistemas complejos: electrónicos, eléctricos, mecánicos
- Peor nuevo
 - Mecanismo de falla más común en equipos complejos
 - La probabilidad disminuye con la edad,
 - Típicamente componentes electrónicos o equipamiento altamente complejo

5.3 Análisis de modo de falla

Durante el proceso de la definición de los estándares de desempeño, encontraremos que el equipo puede fallar de diversas maneras en su cumplimiento. Estas fallas pueden ser agrupadas en dos categorías principales:

Falla Total: El activo detiene de trabajar completamente.

Falla Parcial: El activo opera pero no a los niveles esperados

5.3.1 Modo de Falla (Descripción de la falla)

Un modo de falla describe en términos simples que contribuye a la falla.

Los modos de falla son descritos individualmente debido a que el proceso de anticipación, prevención, detección y corrección de las fallas son aplicadas en forma independiente para cada modo distinto. Considerando que pueden ser múltiples los modos de fallas que pueden ser listados, solamente deben considerar aquellos que sean lo más probables. Esto incluye:

- Modos de fallas que ya han ocurrido en el mismo equipo o similares, esto está determinado por las experiencias individuales o los datos históricos.
- Modos de fallas que están contemplados en los planes actuales de mantenimiento preventivo o tareas
- Modos de falla que no han ocurrido pero son considerados posibles debido a recomendaciones del fabricante
- Modos de falla cuyas consecuencias pueden ser muy graves.

Es recomendable que los modos de fallas sean descritos con el suficiente detalle para facilitar la selección de una adecuada estrategia para prevenirlos, pero no en demasiado detalle que implique un tiempo excesivo en el proceso de análisis en sí mismo.

Algunos ejemplos de modos de falla:

- Arqueado
- Doblado
- Bloqueado
- Quemado
- Detenido
- Contaminado
- Corroído
- Agrietado
- Aplastado
- Inexacto
- Erosionado
- Sucio
- Errático
- Explotado
- Fracturado

- Velocidad incorrecta
- Atascado
- Fugas
- Vibración
- Soltura
- Pérdida de función
- Perdido
- No eficiente
- Sin partida
- Fuera de la secuencia
- Ruido
- Resonancia
- Rasgado
- Gatillado
- Sobrecaentado
- Picado
- Torque incorrecto

5.3.2 Causa Raíz

La causa raíz describe en términos simples que es lo que causa la falla. Es muy útil ya que indicará cuales son las medidas o tácticas de mantenimiento proactivos a tomar que ayudarán a mitigar el riesgo.

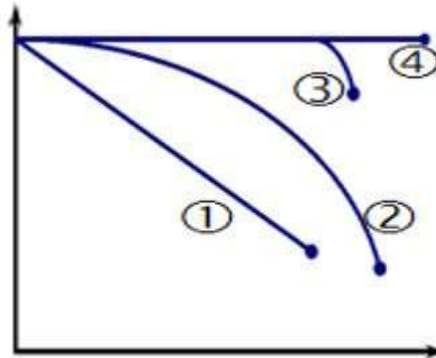
Algunos ejemplos de causa raíz:

- Química
- Inestabilidad
- Corrosión
- Diseño
- Externa
- Fatiga
- Entrenamiento inadecuado
- Lubricación inadecuada
- Procedimiento incorrecto
- Desgaste normal
- Sin procedimiento
- Táctica de mantención incorrecta
- Desconocida
- Inestabilidad térmica
- Desalineamiento
- Desbalance
- Negligencia / abuso
- Asentamiento
- Vibración
- Instalación incorrecta
- Calidad
- Aplicación equivocada

5.3.3 Aparición de la falla (Evidencia de la falla)

Una vez conocida que fallas pueden ocurrir y cuáles son sus causas raíces, es necesario establecer el comportamiento de la falla con el fin de determinar cuál táctica de mantenimiento es la más apropiada.

Los comportamientos clásicos de pérdida de desempeño en el tiempo se pueden apreciar en el gráfico siguiente:



Descripción de los comportamientos típicos de falla:

1. Decaimiento gradual del desempeño o condición
2. Decaimiento gradual del desempeño, acelerándose hacia el fin de la vida útil
3. Decaimiento brusco del desempeño o condición
4. Falla no evidente / escondida o aleatoria.

Como se puede apreciar y a modo de ejemplo, un tipo de progresión como el número 3 no sería adecuado para un mantenimiento basado en condiciones debido a que el tiempo entre la aparición y la falla es muy corto.

5.3.4 Requerimientos mandatorios

Los requerimientos mandatorios deben ser considerados en el desarrollo del plan de mantenimiento. En muchos casos estos requerimientos están definidos con determinados plazos en el tiempo, y deben ser incluidos y programados dentro del plan de mantenimiento.

5.3.5 Selección de tácticas de mantenimiento

Dependiendo de cuán severamente una falla afecte el negocio, es la manera que la compañía determinará los pasos necesarios para mitigar sus consecuencias. Dependiendo de la gravedad de la situación, las acciones a tomar serán una táctica o una combinación de ellas disponibles o incluso la posibilidad de agregar sistemas de respaldo. En algunos casos, el esfuerzo y el costo asociado no serán garantía para prevenir la severidad de la falla.

Un plan de gestión de las fallas debe ser:

- Técnicamente factible
- Riesgo efectivo
- Costo efectivo

Los tipos de tácticas que se pueden utilizar son:

- **Mantenición Basada en Condición;** debe satisfacer los siguientes criterios:
 - Debe permitir detectar el decaimiento del desempeño o los cambios en la condición a medir
 - La falla es predecible en su progreso desde su aparición hasta la falla completa
 - Es práctico el monitorear y detectar el decaimiento en menos tiempo del que toma resolver el problema completamente.
 - El tiempo a partir de la aparición de la falla es lo suficiente largo para permitir seguir en uso y las acciones para remediar pueden ser tomadas con la suficiente antelación para prevenir la falla.
- **Mantenición basado en el uso**
 - Existe un punto en el cual el desempeño del activo muestra un rápido aumento de la tasa de falla, que puede ser definido como la vida útil
 - La tarea retornará la condición y no hay evidencias que quedará existente la falla
- **Correr a la falla**
 - Esto aplica cuando ninguna de las otras tácticas puede ser aplicada exitosa
 - La consecuencia de la falla es tolerable
- **Mejora de diseño**
 - Debe ser realizado solamente cuando esto reducirá el costo, mejorará el desempeño o eliminará o reducirá las consecuencias de la falla

5.3.6 Selección de Táctica

Con el fin de seleccionar la táctica apropiada que reduzca las probabilidades o consecuencias de una falla, es necesario contestarse algunas preguntas como las siguientes:

- ✓ El usuario puede detectar la falla?
- ✓ El ítem tiene un tiempo de uso o edad relacionado con el desgaste?
- ✓ Hay un porcentaje aceptable de elementos que sobrevivan a la edad de desgaste?
- ✓ Se puede desarrollar una tarea que reduzca la probabilidad de falla a un nivel aceptable?
- ✓ Es el costo de la falla y sus daños son mayores que el costo de evitar la falla?
- ✓ Son prácticas las tareas definidas y el intervalo requerido?
- ✓ Qué características de diseño actuales reducen al mínimo la probabilidad de falla?
- ✓ Qué pasa si una adecuada táctica mantenimiento no se pudo encontrar?
- ✓ Qué nos dice la historia?
- ✓ Cómo puede el uso de los equipos influir en la tasa de falla?
- ✓ Qué pruebas se pueden realizar?
- ✓ Qué controles se pueden realizar?

Es necesario considerar la efectividad de costo de mantenimiento. Para ser costo efectivo es necesario que el mantenimiento proactivo reduzca la probabilidad y/o las consecuencias de una falla a niveles aceptables, al ser implementada y dentro del Budget. Dentro de estos límites, una tarea es considerada costo efectiva si cumple con:

- Para fallas ocultas, se reduce la posibilidad de una falla múltiple a un nivel aceptable
- Para fallas que ponen en riesgo el negocio, estas son mantenidas a un nivel aceptable
- Para fallas que producen pérdidas de producción, el costo de realizar la táctica en

el tiempo es menor que la potencial pérdida de producción

- Para fallas con consecuencias para el mantenimiento, el costo de realizar la táctica en el tiempo es menos que el costo de la falla.

5.4 Desarrollo del listado de tareas

Una vez definidas para cada equipo/sistema/componente la táctica adecuada para prevenir los modos de falla, se deben desarrollar las tareas respectivas que permitan llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada. El proceso de desarrollo de las tareas se detalla a continuación

5.4.1 Definición de tarea

Una tarea queda definida por:

- Qué hacer: Instrucciones detalladas en la forma de un procedimiento de trabajo siguiendo una secuencia lógica de ejecución
- Como hacerlo: Herramientas, estándares, consumibles, repuestos, etc.
- Quien lo debe hacer: Equipos de ejecutores, técnicos

5.4.2 Instrucciones de trabajo

Este es un paso bastante estándar, sin embargo, si se desea que los beneficios del proceso de selección de tácticas de mantenimiento sean obtenidos, se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- Asegúrese de que las descripciones de tareas sean "fieles" a las decisiones del proceso,
- Enumerar las herramientas especiales que se requerirán,
- Enumerar las piezas, repuestos y materiales que se requerirán,
- Explicar exactamente lo que hay que hacer,
- Cuando la tarea es una tarea de monitoreo de condición, asegúrese de que el valor de la medición asociado a la tarea se especifica claramente y describa las medidas que deben tomarse si lo medido no pasa la inspección o prueba,
- Utilice una terminología, términos y frases, coherentes,
- Hacer descripciones de tareas seguras, es decir, incorporando todo lo necesario en referencia a la seguridad
- Usar información que sea consistente con el nivel de habilidad de la persona que realiza la tarea,
- Especifique el tiempo necesario para realizar la tarea,
- No embellecer tareas con acciones o informaciones adicionales que no aporten al desarrollo de la tarea,
- No agregue tareas de oportunidad

5.5 Desarrollo del programa de mantenimiento

Los objetivos de compilar un programa de Mantenimiento son:

- Traducir fielmente las tareas acorde con los objetivos y generar paquetes de tareas para ser incluidas dentro de programas de mantenimiento.
- Minimizar el impacto de tareas rutinarias de mantenimiento en la disponibilidad de los equipos
- Maximizar el recurso humano, su productividad y utilización

- Proveer de un Plan Estratégico de Mantenimiento del equipo, y que este sea auditable

El primer punto que se debe tener muy claro, es que el desarrollo del plan plantea preguntas sobre el tipo de persona y las habilidades requeridas para realizar los programas de mantenimiento que resultan del proceso de desarrollo de las tareas.

En la mayoría de los casos las implementaciones de las tácticas de mantenimiento fallan como resultado de que la persona a la que se le dio la tarea de compilar los programas de mantenimiento:

- No tiene conocimiento de los principios sobre Tácticas de Mantenimiento,
- No ha participado en el análisis original de las táctica de mantenimiento,
- Fue responsable de la creación de los programas de mantenimiento actualmente en vigor.

El resultado suele ser que los programas de mantenimiento no reflejan fielmente las intenciones y decisiones originales del equipo de mantenimiento, pero sí reflejan los prejuicios y opiniones particulares de cada individuo (que por lo general se parece mucho a la situación actual).

Los pasos a seguir en la elaboración de los programas de mantenimiento son:

5.5.1 Identificar las restricciones

Se deben identificar las restricciones para la formulación del plan. Esto incluye la identificación de los ciclos de funcionamiento y "ventanas de oportunidad". Si, por ejemplo, la planta de procesamiento tiene que parar y revisar/reemplazar los revestimientos cada catorce días, esto entonces crea una "ventana de oportunidad": Hacer algo de mantenimiento. Otras oportunidades se pueden presentar a través de la estacionalidad de las necesidades de producción, o por la naturaleza de la proceso de producción (por lotes vs proceso continuo, por ejemplo).

Otras limitaciones que pueda necesitar para tener en cuenta son las limitaciones en la disponibilidad de recursos humanos, conocimientos, instalaciones y talleres, el equipo y las capacidades de Ellipse.

5.5.2 Clasificar y Evaluar las tareas;

En este paso, se debe ordenar en principio las tareas por distintos tipos de agrupamientos:

Tipo de operación (mecánico, electricista, instrumentista, etc.)

Requisito de funcionamiento del equipo (el equipo se tiene que detener para hacer la tarea, o debe estar en operación, o se puede hacer con el equipo independiente de su estado)

Frecuencia de la tarea.

5.5.3 Agrupación de tareas

Después de la clasificación inicial, algunas tareas se convertirán en candidatos obvios para la combinación. Por ejemplo, se han identificado una serie de tareas que deben realizarse en las baterías de un camión cada 250 horas, como por ejemplo:

- Compruebe el nivel de electrolito es correcto,
- Verificar y asegurar las conexiones estén bien apretadas,
- Verificar y asegurar las baterías estén limpias y libres de polvo.

Estas tareas son obvias para ser combinadas y deben ser realizadas simultáneamente, ya que están relacionados con el mismo subconjunto y en el mismo lugar.

- El mismo principio se aplica a los siguientes criterios de combinación;
- Las tareas que requieren que múltiples disciplinas estén presentes,
- Tareas que requieren los equipos operando, como las pruebas,
- Las tareas que requieren el equipo detenido y entregado,
- Las tareas que se deben realizar en una secuencia específica.

5.5.4 Establecer frecuencias de las tareas

Ahora se pueden agrupar tareas en conjunto, y establecer la frecuencia apropiada para cada grupo de tareas. Es preferible que las frecuencias sean múltiplos de horas entre sí (por ejemplo, 250 horas, 500 horas, 1000 horas, 2000 horas, etc.).

Sin embargo a menudo habrá tareas que no encajan perfectamente en el grupo correspondiente, con estas tareas y en términos generales, se debe:

1. Reducir la frecuencia para esas tareas, en especial las enfocadas hacia la seguridad o consecuencias ambientales. Esto asegurará que se cumplan las normas mínimas de seguridad especificadas para cada sitio.
2. Llevar a cabo un análisis de costo-beneficio para esas tareas, que tienen consecuencias operacionales y no operacionales. Esto es un poco más complicado, pero en general, se aplican las siguientes reglas de oro:
 - No extienda la frecuencia de la tarea de revisión o sustitución programada. La probabilidad de fallo aumenta rápidamente a medida que la frecuencia de la tarea se extiende.
 - Para tareas basadas en la condición, extendiendo la frecuencia de la tarea aumenta el riesgo de que la falla inminente no sea detectada antes del fallo. Por ejemplo, el aumento de la frecuencia de la tarea a dos veces la longitud del intervalo PF reduce la probabilidad de que la falla sea detectada a un 50%. El aumento de la frecuencia de la tarea a 3 veces el intervalo PF reduce la probabilidad de que la falla pueda ser detectada a un 33%.
 - Para tareas de búsqueda de fallas donde la consecuencia de un fallo múltiple son de naturaleza principalmente económicas, el cálculo de frecuencias puede ser utilizado para optimizar la frecuencia de la tarea.

El cálculo estándar para estimar las frecuencias de hallazgo de falla (FFF) viene dado por:

$$FFF = 2 * MTBF * \text{indisponibilidad permitida}$$

$$FFF = 2 * 4 \text{ años} * 1\%$$

$$FFF = 2\% \text{ de 48 meses}$$

$$FFF = 1 \text{ mes}$$

Rápidamente es notorio que estos cálculos son muy dependientes de los datos históricos, algo que falta en muchas organizaciones hoy en día, sin embargo, esto no debe desalentar

el desarrollo y puesta en práctica. Los intervalos o frecuencias se pueden desarrollar a través de la aplicación de un poco de sentido común, la participación de las personas con experiencia en la materia, teniendo en cuenta los programas de mantenimiento actuales y utilizando los resultados obtenidos de su criticidad y el análisis de modos de falla.

La precisión de los intervalos iniciales pronto se convertirá en muy evidente con el empleo de los indicadores adecuados, con lo que se pueden hacer los ajustes necesarios, un proceso que se aplica incluso en el caso de contar con una gran cantidad de información disponible.

En ocasiones, las tareas que aun queden y que no encajan perfectamente en los paquetes ideales de trabajo, estos tendrán que ser gestionados con frecuencias "especiales".

5.6 Implementación

No hay un camino establecido y fijo para implementar con éxito el proceso de definición de las tácticas de mantenimiento, ya que es más que la realización de un análisis de modo de falla, la adopción de técnicas de monitorización de condiciones y/o la optimización de un programa de mantenimiento y revisión a través del análisis de la historia.

Un proceso exitoso de aplicación primero debe reconocer qué y dónde reside la fuente de retorno de la inversión. La fuente de retorno de la inversión puede ser tangible y/o intangible. En el primer caso, un caso de negocio cuantificable puede desarrollarse sobre la base de beneficios financieros (ahorro, reducción de costos, la reducción de trabajo en curso) a la organización, mientras que para el segundo, el beneficio puede ser cuantificable (habilidades de los empleados, la moral, relaciones con los clientes, imagen corporativa, etc.) en cualquier caso, un punto de partida y la meta deben ser establecidas a través de algún mecanismo como el benchmarking interno o externo, lo que se traduce en un espacio definido entre el "como está " y el estado "debe ser" y el retorno de la inversión identificado para el cierre de la totalidad o una porción de la brecha .

5.7 Aspectos a considerar antes de Aplicación;

Algunos aspectos importantes a considerar antes y durante la aplicación del proceso son:

Definir indicadores clave de rendimiento son esenciales para establecer la línea de base, la meta y la brecha a cerrar. El progreso no puede medirse o mantenerse sin el uso de KPIs relevantes.

Si las especificaciones para aspectos como la alineación, el desbalanceo, nivel de limpieza del aceite, vibraciones, u otros aspectos de diseño no se declaran a los proveedores en el momento de la compra, el producto se recibe tendrá defectos latentes 80 % del tiempo.

El Análisis de Pareto es la mejor herramienta para determinar por dónde empezar el proceso. Se puede buscar los cuellos de botella, las fallas recurrentes, y así, seguir el dinero.

La implementación en un entorno de trabajo en equipo funciona mejor.

Los modos de fallo de los equipos idénticos son los mismos. Los cambios están enfocados en la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia.

La mayoría de las fallas son aleatorias. Muy pocas máquinas logran “entender” cómo funciona un calendario.

Celebrar y hacer publicidad de los éxitos y abordar con claridad los fracasos. La credibilidad es la clave para conseguir apoyo dentro de la organización para el éxito a largo plazo.

5.8 Aspectos Humanos de Tácticas de mantenimiento;

Potencialmente los mayores obstáculos para la integración efectiva de las decisiones tácticas de mantenimiento en los planes y programas de mantenimiento no son los aspectos técnicos. Es cierto que hay algunos principios técnicos, y este documento ha esbozado algunas de ellos, pero los más grandes obstáculos que hay que superar son las personas y los aspectos de gestión. Es importante el hacerse estas preguntas de forma continua:

- Qué tan buenas son las inspecciones que los operadores realizan?
- Se consigue una buena respuesta de los operadores de producción con respecto a los resultados de sus inspecciones?
- Qué tan bueno son los departamentos de mantenimiento en responder con el nivel apropiado de urgencia (o falta de urgencia, ya que la situación lo requiere) a los defectos detectados por los operadores?
- Qué tan bien se ejecutan los programas actuales de mantenimiento?
- Cuántas de sus listas de control de mantenimiento se han completado totalmente y con precisión, y cuántas son simplemente "hecho y entregado"?
- Cuántos de los programas de mantenimiento se completan a tiempo, tanto con respecto al trabajo de mantenimiento como a los tiempos en que los equipos son puestos a disposición, y a los horarios que se deben realizar?
- Qué tan bueno se es en conseguir aprobaciones de proyectos de mejora importantes de mantenimiento?: Cuantos son realizadas en tiempo y dentro del presupuesto?
- Su organización ha adoptado plenamente el cambio de paradigma significativo, alejándose de la mentalidad de revisión a intervalos fijos, pasando a un régimen basado en tácticas de mantenimiento?

Hacer frente a los problemas técnicos de forma aislada no va a resolver ninguno de estos temas, pero sin abordar estas áreas problemáticas, cualquier implementación será inferior a la plenamente eficaz.

Si desea integrar de manera efectiva la planificación y la programación, debe reconocer las implicancias del proceso de Tácticas de Mantenimiento en su organización, no es sólo un ejercicio de ingeniería técnica, sino también un programa de cambio integral para el mantenimiento de su organización.

5.9 Por dónde empezar con la aplicación;

5.9.1 Cubrir los aspectos básicos;

El proceso de generación de Tácticas de mantenimiento que se describe en este documento es muy efectivo y probado en todas las industrias, sin lugar a dudas. Sin embargo uno debe asegurarse de que la organización está preparada para este tipo de aplicación, como se mencionó antes, los siguientes tres aspectos deberían estar trabajando bien antes de que comience la ejecución:

1. Haga bien lo que ya tiene, su plan preventivo y de mantenimiento: lubricación, alineamiento, balanceos, monitoreo de condiciones, etc.
2. Realice bien sus inspecciones básicas;
3. Haga bien su mantenimiento basado en condición.

Después de un muy largo análisis de criticidad y de modo de falla, el resultado final no ha cambiado el hecho de que una correa en V de una transmisión en una correa transportadora crítica tiene que ser inspeccionada!!. A menudo lo que falta, es un documento que describe cómo inspeccionar mientras el equipo está en funcionamiento.

Estos elementos básicos requieren menos esfuerzo que el proceso completo, es más económico en su implementación, capta rápidamente algunos beneficios y produce un retorno inicial.

5.9.2 Preparar la Organización;

Con el fin de garantizar que las tareas se completarán con el entusiasmo, dedicación y compromiso necesario, tenemos que establecer la disposición de más personas a iniciar el proceso.

En otras palabras, la administración debe garantizar que las personas hacen de buena gana y pueden entender lo que se espera de ellos, venderles el concepto a ellos. ¿Cómo nos aseguramos de esta compra?

1. Comunicar los objetivos a los interesados,
2. Obtener comentarios y sugerencias de los interesados,
3. Discuta cómo pueden beneficiarse del ejercicio,
 - Aprender nuevas habilidades,
 - Menos dedicación a la extinción de incendios como respuesta a los problemas y por lo tanto menos estrés en la organización,
 - Una mejor comprensión de cómo funciona el equipo y las funciones de los distintos subconjuntos,
 - Una mayor conciencia de cómo los activos específicos son importantes para la operación,
 - Mayor seguridad en el trabajo,
 - Menos horas extraordinarias,
 - Es posible eliminar la necesidad de los trabajadores por turnos.
4. Promesa de apoyo a la gestión hacia los interesados,

5.9.3 Cambie su paradigma,

Los ingenieros, naturalmente, siempre están "optimizando algo", para "hacerlo más eficaz, perfecta y útil posible" Si bien esto también pasa en el mantenimiento, también causa

efectos no deseados en los costos, mayores esfuerzos requeridos, los recursos necesarios aumentan, se está susceptibles a errores humanos y cambios en los tiempos de mantenimiento. En el entorno competitivo de hoy, tenemos que mantener el equipo de la manera más eficaz, segura y rápida posible, lo que por lo tanto requiere que hagamos el "mínimo necesario" para satisfacer las operaciones. Para lograr esto tenemos que centrarnos en la funcionalidad y el uso en lugar de la disponibilidad, por lo tanto el paradigma de la preservación de equipo debe cambiar para preservar la función.

5.9.4 Capacitar a los interesados ,

Es muy probable que la mayoría de las personas involucradas, especialmente los encargados de la mejora, han oído hablar de las tácticas de mantenimiento a largo plazo. Sin embargo, el número de personas que en realidad tiene un poco de experiencia y la comprensión necesaria será probablemente muy limitada. Sabiendo que podría existir un estado algo mal informado, puede ser difícil obtener una amplia aceptación del equipo. Es necesario y muy importante dar formación a todos los niveles, Gerente, Ingenieros, Supervisores y mantenedores.

5.9.5 Desarrollar un plan (Siga el dinero);

Un mito común acerca de tácticas de mantenimiento es que la gente cree que se debe aplicar a todos los activos/sistemas en una operación a fin de que sus beneficios se materialicen. Esto es principalmente la razón detrás del "no se puede permitir" en la respuesta de la dirección.

En realidad, no se quiere llegar a aplicarlo a todos los activos o sistemas! Así que la pregunta es que activos o sistemas requieren? Muy sencillo, en el que existe un potencial para obtener un retorno de su inversión (ROI).

El análisis de Pareto u (80/20) es el método más eficaz para establecer que activos o sistemas. Seleccione los 20 % que representa el 80 % de su costo o un 80 % de la pérdida de producción por mantenimiento.

Por lo tanto, se debe:

1. Establecer que activos o sistemas, generan los mayores beneficios y,
2. Crear un plan realista de quién debe participar y el plazo para su conclusión.

Lo que sigue siendo cierto, es que tenemos que asignar Tácticas de mantenimiento para cada sistema y/o activo. Por lo tanto, los activos y los sistemas importantes se pasarán por el proceso de selección de tácticas completa, y para el resto sólo se tomarán a través de un proceso abreviado o simplemente asignar tácticas basadas en el conocimiento de ese activo.

5.9.6 Establecer equipos y funciones (asignación de recursos);

De qué área pertenece el personal para el proceso? Este es normalmente un problema monumental. Cuáles son las opciones?

1. Hay que hacer frente a la situación y asignar personal de la planta en el lugar apropiado en el proceso. Si se puede eliminar o al menos reducir al mínimo las interrupciones del equipo conscientemente, esta será una solución muy eficaz.

2. Una alternativa de este tema es la de autorizar un aumento de personal de las operaciones durante este proceso, específicamente para asumir la carga normal de trabajo adicional. El uso de "jubilados" se ha demostrado, en muchos casos, muy útil para obtener los mejores resultados, ya que conocen los activos, las personas y evita así las interrupciones en el trabajo ordinario.
3. Personal del proceso a través de un grupo o gran equipo de soporte técnico, es a menudo considerado como la mejor solución desde el punto de vista de la calidad del personal. Esto, desafortunadamente, no refleja necesariamente el aporte de las operaciones. Puede ser mitigado en cierta medida asegurando un continuo para mantener un papel visible en la operación para garantizar una adecuada integración.
4. Apoyo de consultores externos, esto no sólo crea un problema en la compra por parte de las operaciones, sino que podría no ser muy eficaz, ya que muy probablemente no tienen el conocimiento en profundidad de los activos y sus comportamientos locales.

Puntos a considerar;

1. La cuestión no es si podemos darnos el lujo de aplicar RCM, la pregunta es: *podemos darnos el lujo de no aplicar RCM?*
2. Mientras más reactiva sea la organización, más tenderá a depender de una buena bodega, del OEM y sufren de la llamada "escasez de habilidades".

5.10 Programa de Efectividad / Revisión de las Tácticas

5.10.1 Medición de la eficacia;

Una vez que se ha puesto en marcha el nuevo enfoque para las tácticas de mantenimiento, se debería empezar a notar el cambio con un cierto retraso dinámico, esto no es instantáneo.

Existen mediciones que deberían indicar si se ha producido un cambio o se ha influido en el desempeño de los activos como se espera. Estas mediciones suelen ser:

Los mismos que los criterios utilizados para determinar la criticidad de los equipos, después de todo, estos son los impulsores del negocio.

Tener en cuenta que la Estrategia de Mantenimiento es la que indica el período de tiempo permitido para la mejora.

Las medidas que dan una indicación de si es probable que se logre el desempeño requerido, suelen medirse en procesos que apoyen el resultado.

Los KPIs identificados y señalados en la estrategia de mantenimiento serán suficiente para medir si el programa obtiene el resultado deseado.

5.10.2 Revisión de las Tácticas de Mantenimiento

Una revisión de la táctica debe ser activada por;

1. Cambios en la estrategia operativa.
2. Los problemas identificados a través de análisis de causa raíz.
3. No alcanzar ni superar los requisitos de rendimiento.
4. Dependiendo de la criticidad del equipo, las Tácticas de mantenimiento deben

revisarse periódicamente con las últimas cifras de rendimiento y como forma de garantizar que los principios en que están basadas siguen vigentes.

Estos eventos de que gatillan el proceso de revisión se deben definir en el enfoque de Tácticas de cada faena.

5.11 Indicadores de desempeño

Los KPIs que se han definido para medir el desempeño, implementación y mejoramiento de las tácticas de mantenimiento son:

- Distribución de órdenes de trabajo por tipo: Correctiva, Preventiva, Monitoreo de Condiciones, Rediseño, de acuerdo a los siguientes parámetros:
 - Cantidad de OT por tipo: Busca medir cuan ajustada están las tácticas con la realidad de acuerdo a los perfiles que se esperan, definidos por las tácticas. En cuanto a las preventivas y de monitoreo de condiciones, el valor esperado es que sean ajustadas tanto el esperado como las reales. En el caso de las correctivas o rediseño, la aparición de una cantidad muy grande relativa, significaría que las tácticas no se ajustan a la realidad y deben ser modificadas para dar cuenta de la aparición de fallas no contempladas en la táctica.
 - Cantidad de Horas Hombre asignadas a cada OT: Igual que el anterior, las horas hombres estimadas por tipo de OT reflejan el ajuste de las estimaciones hechas en las tácticas, por lo que diferencias significativas deben gatillar proceso de revisión de las tácticas.
 - Costos estimados: Al igual que los anteriores, esto da cuenta de la buena aproximación de las tácticas a la realidad. En el caso de preventivas o monitoreo de condiciones deben ser totalmente ajustados.
- Cantidad de equipos con estructura de componentes: Esto se medirá como
 - Cantidad de equipos con estructura de componentes en Ellipse / cantidad de equipos totales.
 - Este indicador está enfocado en dar cuenta de la realización de análisis de la jerarquía de los equipos, siendo este análisis la base para la determinación de los modos de falla dentro del proceso de selección de tácticas
- Cantidad de órdenes de trabajo abiertas desde MST / ordenes totales: Indicador que da cuenta de la cobertura de las tácticas para los trabajos que se realizan.
- Órdenes de trabajo correctivas con estándar job asociado / total de ordenes de trabajo: Indicador que da cuenta de la cobertura del análisis de tareas necesarias. Si una tarea no es recurrente pero es necesaria de hacer, el estándar job debe existir. El indicador debe tener a igualar ambas cifras, si es muy grande la diferencia se deben desarrollar los estándar Jobs correspondientes y mejorar las tácticas.

Estos indicadores están contemplados como indicadores para el proceso de tácticas y no son excluyentes de indicadores de desempeño generales del proceso de mantenimiento.