

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

ANÁLISIS DE CRITICIDAD A EQUIPOS DE APOYO DE OPERACIÓN MINA
EN COMPAÑÍA MINERA CANDELARIA LUNDIN MINING

Trabajo de Titulación para
Optar al Título Profesional de
Ingeniero de Ejecución en
Mecánica de Procesos y
Mantenimiento Industrial.

Alumno:

Pablo Tirado Canihuante

Profesor Guía:

Eduardo Aracena Cuéllar

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que fueron un pilar fundamental en esta etapa, sin ellos no podría estar tan lejos de casa todo este tiempo, por todo ese cariño y ese gran apoyo de siempre que me entregaron, sobre todo de un niño arrebatado que se fue a encontrar otro rumbo sin pensarlo.

Mi pareja, la madre de mi hijo, que son los dos motivos por el cual siempre pienso en seguir intentando luchar en la vida, que el sacrificio vale la pena, el amor y felicidad que me muestran es impagable. A todas las personas que conocí en esta hermosa ciudad y por lo cual me brindaron amistad, consejo y buenos momentos que hacían olvidar la lejanía. Dios a ti te lo debo todo.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar la metodología del análisis de criticidad a los equipos de operación mina pertenecientes a Finning Cat, cuya operación se ejerce en la compañía Minera Candelaria. Como motivo principal a la realización de este trabajo de tesis es dar respuesta a la problemática que atraviesa la empresa de disponibilidad de equipos, causadas por fallas que inhiben la operación y producción.

Primeramente, se realiza una etapa de investigación logrando identificar organización y antecedentes de la compañía, seguido de un levantamiento de información de los equipos, logrando la recolección y verificación de datos cruciales, tanto en el área de planificación de mantenimiento y Truck shop que es la planta asignada al mantenimiento y nave de equipos, con el fin de la validación adecuada al análisis.

Se abordó el análisis de criticidad con el estudio de 16 sistemas y subsistemas de los equipos, que corresponden a un total de 7 equipos. Este análisis es basado en el método de la matriz de riesgo lo cual determina la criticidad calculando el producto de la probabilidad de falla, por la consecuencia de la falla, para la estimación de las consecuencias se determinaron ciertos parámetros con una calificación asignada a cada uno. Con la aplicación de la metodología a los sistemas y subsistemas dio como resultado a los con mayor criticidad cuales fueron sistema motor, sistema transmisión, sistema eléctrico y sistema hidráulico para los equipos bulldozer y sistema dirección, sistema hidráulico y sistema HTA de trabajo fueron para los equipos motoniveladora.

Finalmente, a los sistemas mencionados de mayor criticidad, se realizó un análisis de modos de falla, efecto y criticidad (FMECA), con el propósito que muestre a través de diagramas adecuados, el componente a analizar, la falla funcional, los modos de falla y el efecto que producen en los sistemas. Los resultados e interpretación dados del análisis de criticidad y los números de prioridad de riesgo (NPR), para cada modo de falla.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	5
1.1 Fininng	5
1.1.2 Finning en Chile y Sudamérica	5
1.1.3 Minera Candelaria lundin mining	6
1.1.4 Ubicación	6
1.1.5 Producción	6
1.1.6 Finning en minería	7
1.1.7 Flota de equipos de taller	8
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Mantenimiento	9
2.1.1 Mantenimiento y la Norma	9
2.1.2 Finalidad del mantenimiento	9
2.1.3 Tipos de mantenimiento	9
2.2 Confiabilidad operacional	10
2.3 Análisis de criticidad	11
2.3.1 Metodología de calculo	15
2.4 Análisis de modo y efecto de fallas (FMA)	17
2.4.1 Definición y descripción de falla	17
2.5 FMECA	19
2.6 Evaluación de criticidad	20
2.6.1 Numero de prioridad de riesgo (NPR)	20
CAPITULO 3: RESULTADOS	23
3.1 Datos técnicos	23
3.1.1 Base técnica de equipos	23
3.1.2 Intervenciones	25
3.2 Aplicación de técnicas de análisis para los equipos	27
3.3 Resultados análisis de criticidad	31
3.4 Diagrama FMECA	32
3.4.1 Interpretación de gráficas y resultados FMECA	53
CONCLUSIONONES Y RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	56

ANEXOS 57

 Anexo A: Levantamiento de información tractor de cadena Bulldozer 57

 Anexo B: Levantamiento de información Motoniveladora 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Países donde opera finning en Sudamérica	5
Figura 1-2: Mina Candelaria a rajo abierto.....	6
Figura 1-3: Capacidad de procesamiento histórico minera candelaria.....	7
Figura 2-1: Aspectos de la confiabilidad operacional	11
Figura 2-2: Modelo básico de criticidad.....	13
Figura 2-3: Matriz de criticidad	15
Figura 2-4: Matriz para evaluar el riesgo	16
Figura 2-5: Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos	18
Figura 3-1: Gráfico de intervenciones realizadas.....	26
Figura 3-2: Gráfica de criticidad en sistemas de equipos Bulldozer, basado por el modelo de riesgo.....	31
Figura 3-3: Gráfica de criticidad en sistemas de equipos Motoniveladora, basado por el modelo de riesgo	32
Figura 3-4: Gráfica NPR del Sistema Hidráulico Bulldozer	41
Figura 3-5: Gráfica NPR del Sistema Eléctrico Bulldozer	42
Figura 3-6: Gráfica NPR del sistema Motor Bulldozer.....	43
Figura 3-7: Gráfica NPR del Sistema de Transmisión Bulldozer	44
Figura 3-8: Gráfica NPR del Sistema hidráulico Motoniveladora.....	49
Figura 3-9: Gráfica NPR del Sistema Dirección Motoniveladora	50
Figura 3-10: Gráfica NPR del Sistema HTA Trabajo Motoniveladora.....	51
Figura 3-11: Gráfica de disponibilidad mensual en equipos	52
Figura A- 1:partes externas del tractor de cadena.....	57
Figura A- 2: Subsistema de Admisión y Escape de gases en motores	59
Figura A- 3:Funcionamiento subsistema de aceite y lubricante en motor Diesel Caterpillar.....	60
Figura A- 4:Partes del Convertidor par	60
Figura A- 5: Partes de la dirección de freno del bulldozer	62
Figura A- 6: Partes externas del tractor de cadena.....	63
Figura A- 7: Partes de la hoja topadora del tractor de cadena	64
Figura A- 8: Partes externas del tractor de cadena.....	65
Figura B- 1:Partes externas del tractor de motoniveladora	67
Figura B- 2:Partes del tren de fuerza de Motoniveladora.....	67
Figura B- 3: Cajas tamden (1)	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Flota de los equipos a estudiar de taller 8

Tabla 2-1: Hechos relativos a baja confiabilidad..... 10

Tabla 2-2: Criterios y clasificación de la severidad 21

Tabla 2-3: Criterios y clasificación de la ocurrencia..... 22

Tabla 2-4: Criterios y clasificación de la detección 22

Tabla 3-1: Equipos de taller..... 23

Tabla 3-2. Rango de códigos, sistemas /subsistemas de equipos..... 24

Tabla 3-3: Cálculo de intervenciones realizadas..... 25

Tabla 3-4: Fallas en los sistemas/Subsistemas de los equipos 26

Tabla 3-5: Criterios para evaluación de criticidad 28

Tabla 3-6: Evaluación de los sistemas y subsistemas de Bulldozer, por el modelo de criticidad de riesgo 29

Tabla 3-7: Evaluación de los sistemas y subsistemas de Motoniveladora, por el modelo de criticidad de riesgo 30

Tabla 3-8: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico 33

Tabla 9-9: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico 34

Tabla 3-10: Hoja de FMECA a Sistema Eléctrico Fuente: Elaboración Propia..... 35

Tabla 3-11: Hoja de FMECA a Sistema Eléctrico 36

Tabla 3-12: Hoja de FMECA a Sistema Motor Diesel..... 37

Tabla 3-13: Hoja de FMECA a Sistema Motor Diesel..... 38

Tabla 3-14: Hoja de FMECA a sistema Motor Diesel 39

Tabla 3-15: Hoja de FMECA a Sistema de Trasmisión 40

Tabla 3-16: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico 45

Tabla 3-17: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico 46

Tabla 3-18: Hoja de FMECA a Sistema Dirección..... 47

Tabla 3-19: Hoja de FMECA a Sistema HTA Trabajo 48

SIGLAS

FMEA: Análisis de modos y efectos de fallas.

FMECA: Análisis de modo, efecto de fallas y criticidad

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización).

RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad.

MCO: Mejoramiento en la confiabilidad operacional.

CEN/TC: Comité europeo de normalización en mantenimiento.

EN: Norma europea

ECM: Electronic control module (Módulo de control electrónico)

NPR: Número prioritario de riesgo.

SIS: Service Information System (Herramienta de software para piezas y maquinas Cat)

SIMBOLOGIA

km: Kilómetros.

m: Metros.

mm: Milímetros.

%: Porcentaje.

rpm: Revoluciones por minuto.

KW: Kilo Watts.

ton: Tonelada

Kg: Kilogramo.

Hp: Caballo de fuerza.

m³: Metro cúbico

INTRODUCCIÓN

Durante los años el desarrollo en tecnología crece desmesuradamente, muchas de estas quedan obsoletas por otras con nuevas ideas o simplemente son modificadas para un uso eficaz y eficiente.

El concepto de mantenimiento es muy distinguido por el sector industrial y empresarial, pues constantemente tiene que ir adaptándose durante el transcurso de los años para que la metodología utilizada sea enfocada en una gestión con eficiencia de los procesos productivos, reducción de costos, incremento de la rentabilidad, competitividad empresarial y mejora continua de la calidad del producto y servicio.

Para cumplir cada objetivo de manera exitosa, primeramente, hay que establecer que procesos, sistemas, componentes o equipos son de prioridad en su contexto operacional en cada empresa.

El análisis de criticidad es el adecuado para llevar a cabo cada unas de estas prioridades, logrando establecer una lista jerarquizada de cada sistema o activo, ya que sus resultados benefician en la toma de decisiones acertadas o efectivas, estrategias generales y planificaciones, para saber dónde priorizar recursos y optimizarlos. el análisis FMECA ayudara a encontrar los modos de falla y efecto que producen estas, como también evaluando la criticidad.

Por medio de este trabajo muestra un análisis de criticidad y un análisis de FMECA, a equipos de operación mina de la empresa, lo cual están constantemente en mantenciones y paradas obligadas por no funcionamiento, impactando drásticamente en su productividad, el análisis determinara la criticidad de los equipos, la causa y modos de fallo a los sistemas y subsistemas de este.

PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

La operación en una minera siempre será un desafío, sobre todo por condicionantes que asoman en el sector industrial del cobre, que inestabilizan el precio del mercado a veces de manera muy fugaz de altas y bajas que van repercutiendo en costos e inversión en la producción anual de una compañía.

Finning Cat asume ese desafío y cuenta con un acuerdo comercial con Minera Candelaria en suministros de equipos, repuestos, servicios de mantención y consultoría. Pero a grandes desafíos, grandes riesgos y la posibilidad de tener problemas es inminente.

La situación del problema surge como consecuencia de la falta de disponibilidad de ciertos equipos de apoyo de operación mina, pertenecientes a Finning Cat para servicios de mantención, lo cual insatisface al cliente quien es Minera Candelaria. La problemática radica que sistemas y subsistemas de los equipos dejan inoperable por largos tiempos y la gestión de stock de repuestos tarda de manera considerable ya que muchos de estos repuestos son de importación, aumentando aún más el tiempo de equipos inoperables, productividad y gastos de recursos financieros. El área de mantención de la empresa tiene carencias, al conocimiento y respaldo de datos en cuanto a la criticidad de los sistemas y componentes comprometidos en fallas funcionales de los equipos.

El desarrollo del presente trabajo busca mitigar la problemática planteada, logrando identificar los sistemas más críticos de los equipos de apoyo de operación mina, con el fin de aumentar la disponibilidad mensual exigida (85%) y a la vez aumentar la producción a causa de ello, como también la satisfacción por parte del cliente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar análisis de criticidad a equipos de apoyo de operación mina, en minera candelaria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar levantamiento de información sistemática de los equipos de operación mina candelaria.
- Analizar la criticidad a través de la matriz de riesgos a sistemas y subsistemas de los equipos.
- Elaborar un análisis de modos de falla, efecto y criticidad (FMECA), para los sistemas y subsistemas más críticos de la flota.
- Clasificar por índice de criticidad los sistemas y subsistemas de los equipos de operación mina candelaria.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

- Recopilación de datos de intervenciones, fallas funcionales, frecuencia de falla, disponibilidad de equipos y stock de repuestos asociados a los sistemas y subsistemas en los equipos.
- Establecimiento de parámetros o criterios.
- Aplicación del método de análisis de criticidad por medio de la matriz para evaluar riesgos, a los sistemas y subsistemas.
- Interpretar resultados obtenidos.
- Identificar los sistemas y subsistemas críticos.
- Representación de resultados mediante graficas.
- Aplicación del método FMECA a los sistemas y subsistemas más críticos.
- Verificación de las fallas funcionales de los equipos.
- Determinación de los modos de falla posibles y aparentes de los sistemas y subsistemas.
- Evaluación de los modos de fallas y efectos producidos
- Obtención de la calificación de severidad, ocurrencia y detección de fallas.
- Obtención del NPR en cada modo de falla.
- Representación final de los resultados NPR del análisis FMECA a través de gráficas.
- Representación de disponibilidad operacional mensual de los equipos.
- Interpretación de los resultados y graficas obtenidos.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1.1 Fininng

Finning es el distribuidor de Caterpillar, esta encargada de la venta y arriendo de equipos, accesorios, repuestos y servicio técnico especializado a clientes de diversas industrias tales como minería, construcción, petroleras, agrícolas y aplicaciones de sistemas de energía. Desde su fundación en 1933 estableciéndose en Canadá por Earl B. Finning, la empresa se ha consolidado con el compromiso de fidelizar a sus clientes por medio de sus solidas capacidades y propuestas de servicio, integridad e ingenio. Con un total de 12.000 personas en el mundo a disposición de la empresa y operación en tres zonas geográficas, con sedes principales en Canadá, Reino Unido y Chile.

1.1.2 Finning en Chile y Sudamérica

En Sudamérica empezó a regir con sede principal en Santiago de Chile en el año 1993 y para Argentina y Bolivia en el año 2003 con una amplia gama de mercados en el sector industrial, minería, construcción y sistemas de energía. En Chile Finning ha logrado extenderse a lo largo de las regiones con mayores predominancias industriales, sobre todo en el sector norte del país.



Figura 1-1: Países donde opera Finning en Sudamérica

Fuente: Web Finning Company

1.1.3 Minera Candelaria lundin mining

La mina fue descubierta en 1987 como un depósito de cobre, oro y óxido de hierro, y comenzó a operar en 1993. Hasta octubre del 2014 la compañía estuvo controlada por la estadounidense Freeport McMoRan Copper & Gold (80%) y el consorcio japonés Sumitomo (20%). Lundin Mining Corporation compró la participación de Freeport McMoRan Copper & Gold en noviembre del 2014. Lundin Mining Corporation es una minera canadiense focalizada en la extracción de cobre, zinc, plomo, níquel y cobalto, con operaciones en Chile, Portugal, Suecia, España y EEUU. El distrito minero Candelaria produce concentrado de cobre, oro y plata, el mineral es extraído desde una mina a rajo abierto y desde las minas subterráneas en Candelaria norte y operación ojos del Salado con sus minas subterráneas Santos y Alcaparrosa.



Figura 1-2: Mina Candelaria a rajo abierto

Fuente: web Lundin Mining

1.1.4 Ubicación

Las operaciones de minera Candelaria se ubican en la comuna de Tierra Amarilla, a 20 Km al sur de Copiapó, en la región de Atacama. Las principales ventajas del distrito son su ubicación a baja altura, su cercanía a importantes centros urbanos, una planta desalinizadora que le abastece de agua y un puerto propio para el embarque del concentrado.

1.1.5 Producción

Del distrito minero Candelaria, diariamente se extraen 230.000 toneladas de material, de las cuales aproximadamente 76.000 toneladas corresponden a mineral que es enviado para su proceso a las plantas concentradoras Candelaria y Pedro Aguirre Cerda. En 2015, Candelaria alcanzó una producción de 181.040 toneladas de cobre fino y 102.500

onzas de oro y 1.8 millones de onzas de plata. A 110 km de distancia, en la ciudad de Caldera, se ubica el Puerto Limpio Mecanizado Punta Padrones, en el cual se embarca el concentrado de cobre con destino a los mercados internacionales. La Planta Desalinizadora de agua de mar se ubica en las instalaciones del Puerto Punta Padrones. En la figura (2-3) se aprecia el rendimiento histórico de minera Candelaria desde el año 2000 hasta mediados del 2018, un promedio de 25.8 millones de toneladas por año, equivalente a 76.000 toneladas por día a una utilización de la planta del 93%.

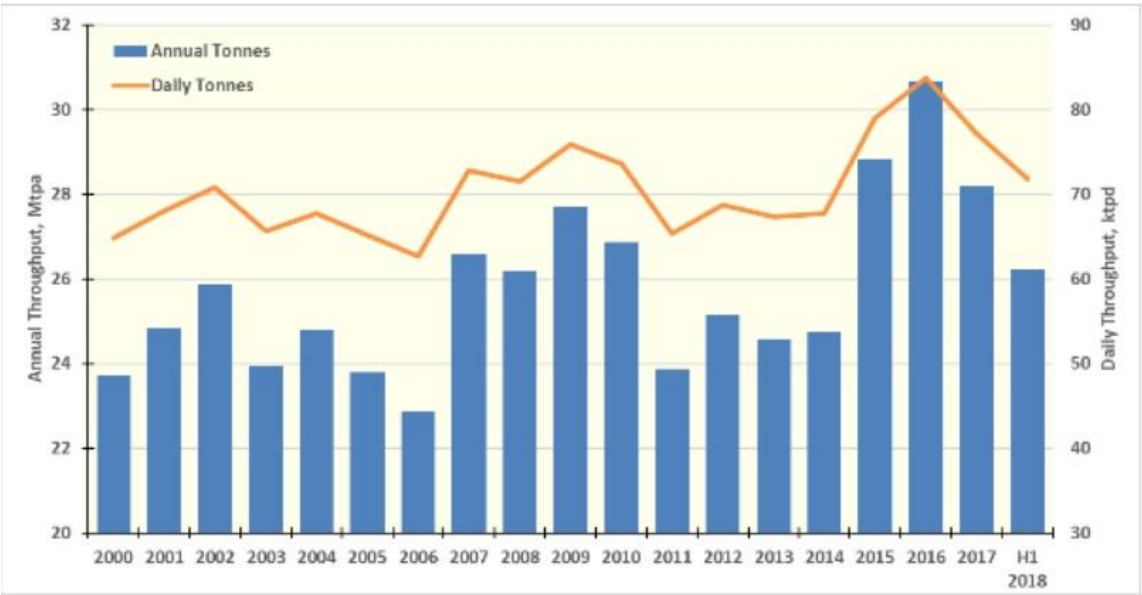


Figura 1-3: Capacidad de procesamiento histórico minera candelaria

Fuente: (reporte técnico NI 43-101)

1.1.6 Finning en minería

La compañía tiene el conocimiento de los altos estándares y desafíos que implica el rubro de la minería por eso ofrece equipos de última generación en tecnología, con un personal capacitado y entrenado en la utilización de equipos y servicio para la minería. “El diseño e implementación de soluciones específicas para lograr los niveles más altos de seguridad, productividad, eficiencia a un menor costo” (P. Damjanic, vicepresidente). Finning cuenta con un acuerdo comercial con minera Candelaria en suministros de equipos, repuestos, servicios de mantención y consultoría.

1.1.7 Flota de equipos de taller

Los equipos de taller suman un total de 28 unidades, de las cuales se subdividen en 8 variedades y cada una de estas en iguales y/o distintos modelos según sea el caso. En la siguiente tabla se detalla un listado de los distintos equipos y su modelo correspondiente, que serán considerados para este estudio. Para obtener información detallada de los equipos revisar Anexo A equipo Bulldozer, Anexo B equipo Motoniveladora.

Equipo	Modelo
Tractor Bulldozer	D10T2 (25-26-27)
Tractor Bulldozer	D8T-30
Tractor Bulldozer	D6T-20
Moto	14M-20
Moto	16M-09

Tabla 1-1: Flota de los equipos a estudiar de taller

Fuente: elaboración propia

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Mantenimiento

Son todas las actividades necesarias para mantener un equipo e instalaciones en condiciones adecuadas, cumpliendo los propósitos de los cuales fueron diseñadas, además de mejorar la producción buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de estos.

2.1.1 Mantenimiento y la Norma

La norma europea EN 1330:2017. Es un documento normativo, que ofrece un “cuadro terminológico estandarizado de mantenimiento” con intención de llegar a un lenguaje común universal en el tema, elaborado por el Comité Europeo de Normalización en Mantenimiento (CEN/TC 319 Maintenance). Define a mantenimiento como “la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y gerenciales durante el ciclo de vida de un ítem con el fin de conservarlo o restáurarlo aún estado el cual pueda desempeñar la función requerida”.

Esta norma sirve de referencia para órganos de normalización, empresas y asociaciones de mantenimiento de países fuera de la Unión Europea. Se considera en Latinoamérica, África, Asia, Oceanía y en Norteamérica, en Estados Unidos y Canadá.

2.1.2 Finalidad del mantenimiento

La finalidad del mantenimiento es mantener operable el equipo e instalaciones industriales y restablecer este a las condiciones de funcionamiento predeterminado; con eficiencia y eficacia para obtener la máxima productividad.

2.1.3 Tipos de mantenimiento

Podemos clasificar las estrategias del mantenimiento en 4 categorías.

- Mantenimiento correctivo: Consiste en la reparación de una falla una vez producida. El operador de la maquina es la persona encargada de identificar los defectos de la máquina y encargado de avisar al personal especializado para que realice la reparación.

- **Mantenimiento Predictivo:** Es posible detectar síntomas prematuros de desperfectos o desajustes, un tiempo antes de que se produzca la falla no deseada. A partir de la detección de la falla, es posible estimar el tiempo de vida hasta la falla y, en consecuencia, contar con el tiempo para programar su reparación. Algunas herramientas de mantenimiento predictivo son el análisis de vibraciones, análisis de partículas de desgaste, inspección por ultrasonido, etc.
- **Mantenimiento Preventivo:** Se realiza a espacios de tiempos, horas o ciclos regulares bien definidos, sin importar el estado del componente. Ejemplo de este mantenimiento son servicios de inspección cíclicos, conservación y restauración de un componente para prevenir, detectar o corregir defectos.
- **Mantenimiento Proactivo:** Tipo de mantenimiento que pretende determinar la causa raíz que puede provocar una falla funcional con el fin de prevenir o mitigar una falla indeseable.

2.2 Confiabilidad operacional

Cuando se refiere al termino de confiabilidad podemos decir que es “la capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida en condiciones establecidas durante un periodo de tiempo” (Sueiro Guillermo) y en cuanto a ítem hace referencia a un equipo o máquina, un sistema, instalación industrial, un trabajador u operador.

Otros autores discrepan un poco al enfocarse netamente en una definición para un término general, donde el campo es muy amplio y enfocan el concepto a hechos que inciden en la confiabilidad operacional, como muestra la siguiente tabla.

Fallas	Menor eficiencia	Estrés
Perdidas	Enfermedades laborales	Descontento gerencial
Mal mantenimiento	Accidentes	Trato inadecuado
Descontento general	Sobretiempo de trabajo	Menor rendimiento
Mala operación	Falta de capacitación	Outsourcing
Problemas sindicales	Mayor consumo de energía	Penalizaciones de clientes
Incumplimiento de pedidos	Problemas ambientales	Desconfianza general
Sin stock de repuestos	Instalaciones inadecuadas	Multas del estado
Baja producción	Alta rotación de personal	Fallas de emergencia

Tabla 2-1: Hechos relativos a baja confiabilidad

Fuente: Duran José

Para entender la tabla anterior el autor concluye que un programa de confiabilidad operacional es el resultado de soluciones técnicas aportadas, en el que participan todos los trabajadores de los diferentes niveles organizativos de una institución y no solo del área de mantenimiento, produciendo entradas que inciden en la confiabilidad, tanto humanas, mantenimiento de equipos, confiabilidad de equipos y confiabilidad de procesos.



Figura 2-1: Aspectos de la confiabilidad operacional

Fuente: Duran José

En la figura 2-1, se aprecia que la confiabilidad operacional tiene cuatro grandes entradas, sobre las cuales se debe actuar si se requiere un mejoramiento continuo sostenido a largo plazo. Este proceso denominado mejoramiento en la confiabilidad operacional (MCO) genera cambios en la cultura de la organización haciendo que esta se convierta en una organización diferente con un amplio sentido de la productividad, con una visión clara del negocio y gobernada por hechos. Cualquier hecho aislado de mejora en alguno de los cuatro frentes de la confiabilidad operacional puede traer beneficios, pero al no tomar en cuenta los demás factores es probable que estos sean limitados y/o diluidos en la organización.

2.3 Análisis de criticidad

Si le diéramos una definición a criticidad tendríamos que es una “medición relativa de las consecuencias de un modo de fallo y su frecuencia de ocurrencia”. Entonces cuando nos referimos al análisis de este, nos referimos a la “metodología que permite cuantificar sucesos de eventos y fallas, el análisis busca ponderar o jerarquizar a los equipos, sistemas, instalaciones y procesos en un orden”. (García Palencia Oliverio). Esta medida puede estar dada por niveles cualitativos o cuantitativos, como riesgo, confiabilidad, económicos, fallas, etc. Estos factores determinaran la importancia de un

equipo sobre otro. El análisis de criticidad busca tomar las decisiones efectivas y acertadas, colocando especial énfasis en puntos importantes o mejoras necesarias para la confiabilidad operacional. El análisis permite generar una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total de los elementos analizado logrando diferenciar tres zonas de clasificación las cuales son: alta criticidad, media criticidad y baja criticidad.

El análisis de criticidad busca un objetivo claro de establecer un método eficaz que logre en la determinación y jerarquía de procesos, sistemas y equipos en una empresa, organización, industria o planta.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\textbf{Criticidad} = \textbf{Frecuencia} \times \textbf{Consecuencia}$$

Donde la frecuencia esta asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está referida con el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. De esta manera es posible establecer criterios fundamentales para la elaboración de un análisis de criticidad tales como se muestran a continuación.

- Frecuencia de falla
- Costos de mantenimiento y operacionales
- Tiempo promedio de reparación
- Producción
- Impacto seguridad
- Impacto ambiental

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. en la figura 2-2 se aprecia un modelo básico de criticidad a seguir empleando los puntos anteriores.



Figura 2-2: Modelo básico de criticidad

Fuente: Huerta Mendoza

Entorno y aplicación de las áreas en común

Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en diversas áreas tales como.

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

Según Huerta Mendoza estableció un modelo básico para la criticidad definiendo cada punto de ellos, los cuales se muestran a continuación:

En el ámbito de mantenimiento: Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de inspección: El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de

los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales: La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de disponibilidad de planta: Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del personal: Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

información de recolección y levantamiento de datos técnicos

Sin duda representa un punto de vital importancia en cuanto concierne al análisis de criticidad, ya que depende de los datos estadísticos, historial de los equipos o sistemas a evaluar que permitan cálculos exactos y precisos, pero esto no siempre es en la realidad de las empresas ya que muchas no cuentan con la información necesaria o más bien es escasa o simplemente no hay un orden del manejo de la información. Para estas situaciones el análisis de criticidad permitirá trabajar en rangos, estableciendo cual es la condición más favorable y la menos favorable también de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias.

2.3.1 Metodología de cálculo

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

La matriz de criticidad o matriz de riesgo, tiene como objetivo facilitar el analisis e interpretacion del valor númerico a obtener .esta fue elaborada para este estudio de analisis que se determino junto con personal tecnico de la empresa . La matriz fue creada a partir del modelo base ,de la matriz para evaluar el riesgo de García Palencia Oliverio.

La matriz (figura 2-3) cuenta con un sistema de colores , los cuales determinaran el nivel de criticidad donde se encuentre situado en esta.Se logra en conjunto con la base de parametros o criterios que se puedan otorgar previo al analisis.

La clasificación de la matriz esta dada por :

- Sistemas altamente criticos (AC) en rojo
- Sistemas medianamente criticos (MC) en amarillo
- Sistemas con baja criticidad (BC) en verde

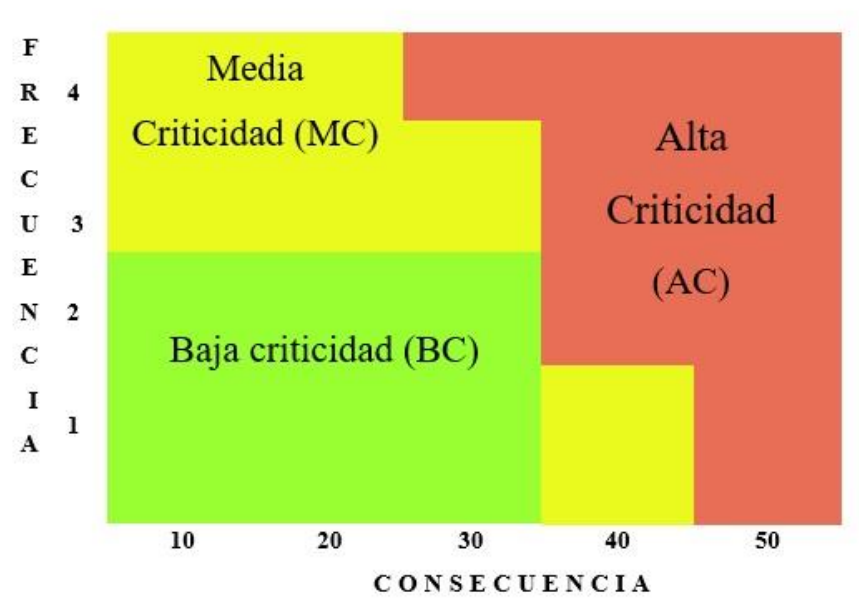


Figura 2-3: Matriz de criticidad

Fuente: Elaboración Propia a partir del modelo de la matriz de riesgo de García Palencia

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

$$C = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional} \times \text{MTTR}) + \text{Costos de Mantenimiento} \\ + \text{Impacto (Seguridad, Ambiente e Higiene)}$$

Método de riesgo

Este modelo asigna una prioridad relativa para cada uno de los riesgos, combinando la probabilidad que un evento ocurra con el impacto que el evento pueda causar, y se puede expresar de la siguiente manera.

$$R = P \times C$$

el riesgo de la falla es calculado como el producto de la probabilidad o frecuencia de falla por la consecuencia de falla.

Probabilidad						
Muy Probable	5	5	10	15	20	25
Probable	4	4	8	12	16	20
Ocasional	3	3	6	9	12	15
Remoto	2	2	4	6	8	10
Improbable	1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5	
	Leve	Menor	Moderada	Mayor	Severa	
	Consecuencia					

Figura 2-4: Matriz para evaluar el riesgo

Fuente: García Palencia

Los Criterios o parámetros de criticidad basados en el autor Huerta Mendoza, para la evaluación del análisis están contemplados por:

- Frecuencia de Falla: es el número de veces que se repite un evento considerado como falla, dentro de un período de tiempo.
- Impacto Operacional: entendiéndose como el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

- Flexibilidad: definida como la posibilidad de realizar un cambio rápido con un equipo paralelo para continuar con la operación normal sin incurrir en costos, detenciones o pérdidas considerables.
- Costo Mantenimiento: Costo que implica reparar la falla más el costo de lo que se deja de producir.
- Tiempo promedio para reparar (TPPR o MTTR): Es el tiempo promedio empleado en la reparación de la falla, se calcula desde que el equipo pierde su función hasta que este disponible para funcionar.
- Impacto Seguridad: enfocado a evaluar posibilidad de eventos no deseados con daños a personas
- Impacto Ambiente: corresponde al efecto que la falla puede producir en el medio ambiente.

Cada uno de estos parámetros se pueden cualificar y cuantificar para con base en la consecuencia tomar decisiones acertadas.

2.4 Análisis de modo y efecto de fallas (FMA)

El análisis de modo y efecto de fallas (Failure Mode Effect Analysis FMA) es una metodología muy usada en la planeación del mantenimiento, este análisis permite lograr un entendimiento global del sistema y lograr identificar las fallas, así como también del funcionamiento y en las formas que pueden presentarse estas en los equipos.

2.4.1 Definición y descripción de falla

Una falla es el término de la capacidad de una entidad para realizar una requerida función. Se puede decir que una entidad ha fallado cuando no es capaz de realizar su cometido, entendiéndose que ha ocurrido debido a una alteración de sus componentes o funcionamiento.

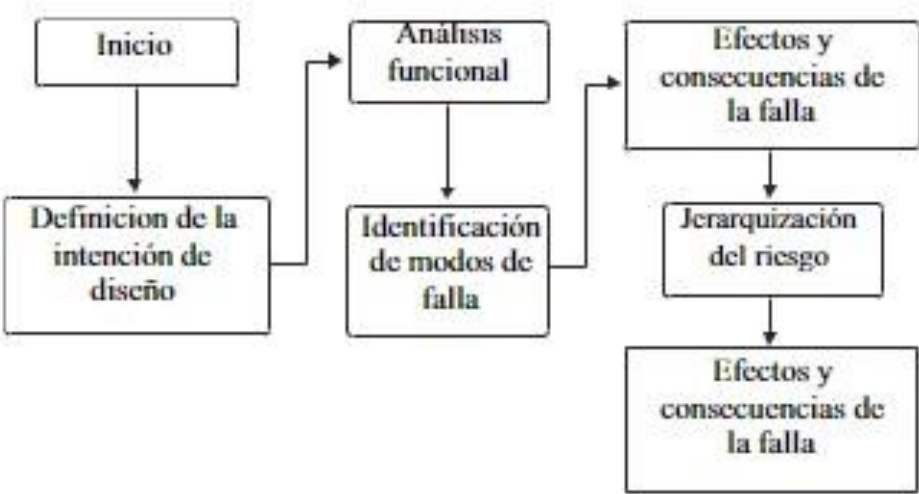


Figura 2-5: Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos

Fuente: Aguilar -Otero

En la figura (2-5) se observa una metodología para aplicar el análisis, pasando por una serie de etapas las cuales se definen a continuación.

Definición de la intención de diseño

Es una de las etapas iniciales y principalmente busca la familiarización y asimilación del proceso en análisis para todo el personal involucrado, por ende, es de vital importancia conocer y entender la ideología del proceso o planta en si, para poder identificar fácilmente las condiciones de las cuales se opera, tomando en consideración diseño como las necesidades del usuario. El desarrollo de esta actividad nos permite saber la forma en que se operan los activos. La definición deberá de contener parámetros de operación, los equipos involucrados, rutas de proceso, parámetros de control, entre otros.

Análisis funcional

Ideado para reconocer e identificar que funciones se desean o esperan que un activo desempeñe. En esta etapa se conocerán la función principal y secundarias del proceso.

Identificación de modos de falla

Cuando se habla de modo de falla hace referencia en la forma que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función o simplemente en la forma que un activo falla, estas formas puede ser de diseño, fabricación, por operación, logístico, averías o accidentes, desgaste del equipo, etc.

Efectos y consecuencias de la falla

Los efectos son considerados como se manifiesta una falla, como se ve perturbado el sistema ante una eventual falla en el activo o equipo, esta puede ocurrir en cualquier

parte del sistema y las formas de como se manifiesta son aumento y disminución de temperatura de niveles de sustancias ,activación de señales o alarmas de seguridad ,también son consideradas la sintomatología de la falla ,ruido ,aumento de vibración, gases o cualquier detalle extraño a un proceso normal del sistema o equipo. En cuanto para las consecuencias propiamente provocados por los impactos de la falla se encuentran la seguridad al personal, impacto ambiental y producción.

Jerarquización del riesgo

El proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, resultante de la combinación de la frecuencia de ocurrencia por sus consecuencias, nos permite identificar las mejores áreas de oportunidad para las acciones de recomendación, tanto en la etapa de evaluación como en la aplicación de los recursos económicos y humanos.

2.5 FMECA

John B. Bowels y Ronald D. Bonnell en el “Simposium Anual de Confiabilidad y Mantenibilidad, USA, 1998”, definen FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) como “un análisis cualitativo y estructurado realizado a un sistema, subsistema o función, utilizado para identificar sus potenciales modos de fallas, sus causas y efectos asociados a cada una de aquellas. Incluye el estudio de la probabilidad de ocurrencia de dichos modos de fallas. Provee una base para el reconocimiento de los componentes que fallen en el sistema, ya que realiza una descomposición de éste, y además puede ser utilizado para realizar cambios y correcciones en el diseño con el objeto de mitigar las fallas”.

El análisis FMECA suministra una plataforma para el reconocimiento prematuro de los efectos de una falla en él o los componentes del sistema, como resolverlas o palearlas a través de cambios en el diseño, cambios en los procesos de mantenimiento o en los procedimientos de operación. La metodología FMECA está basada en una aproximación inductiva a un análisis jerarquizado, donde el analista debe:

- Determinar como, la posible falla de cada componente del sistema, afectará la operación.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Documentar el proceso.

2.6 Evaluación de criticidad

La evaluación de criticidad es un intento para priorizar las fallas encontradas en un análisis del sistema basado en sus efectos y la verosimilitud de ocurrencia.

2.6.1 Numero de prioridad de riesgo (NPR)

Es un método muy común para evaluar, en ingles se conoce al método con las siglas RPN (Risk Priority Number). El NPR utiliza términos gramaticales para el ranking de las probabilidades de ocurrencia de falla, la intensidad de los efectos de falla y la evaluación de detección de fallas.

Para cada modo de falla, la severidad (S), la probabilidad de ocurrencia (O) y la dificultad de detección (D) se valorizan en una escala de 1 a 10, el producto de estos números es llamado como anteriormente se mencionó como “Numero de Prioridad de Riesgo”. (NPR). Este número es utilizado para indicar las partes en el sistema que necesitan mejoras. “Dependiendo de las políticas de ejecución o de resultados esperados se pueden utilizar diferentes criterios para determinar acciones para reducir el valor del NPR. El modelo FMECA tradicional utiliza el NPR para determinar el riesgo asociado a cada modo de falla.

Cálculo de número de prioridad de riesgo

$$\text{NPR} = \text{Severidad (S)} \times \text{Ocurrencia (O)} \times \text{Detección (D)}$$

Efecto	Clasificación	Criterio
Nulo	1	Sin efecto
Muy poco	2	Poco efecto del desempeño del sistema o equipo
Poco	3	Poco efecto del desempeño del sistema o equipo
Menor	4	Efecto moderado en el desempeño del sistema o equipo
Moderado	5	Efecto moderado en el desempeño del sistema o equipo, esta a salvo
Significativo	6	El desempeño del sistema o equipo se ve afectado, pero es operable. Falla parcial
Mayor	7	El desempeño del sistema o equipo se ve mayormente afectado, esta a salvo, pero es funcional. sistema afectado
Extremo	8	sistema o equipo inoperable, pero a salvo
Serio	9	Efecto de peligro potencial en sistema o equipo, sin falla catastrófica
Peligroso	10	Efecto de peligro potencial en equipo o sistema, falla catastrófica

Tabla 2-2: Criterios y clasificación de la severidad

Fuente: Manual AMEF análisis de modo y efecto de fallas potenciales

Ocurrencia	Calificación	Criterios	Probabilidad de falla
Remota	1	Falla improbable no existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico	< 1 en 1.500.000
Muy poca	2	Solo falla asiladas asociadas con este proceso o con un proceso casi idéntico.	1 en 150.000
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 30.000
Moderada	4-5-6	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales.	1 en 4.500 1 en 800 1 en 150
Alta	7-8	Este proceso o uno similar han fallado a menudo.	1 en 50 1 en 15
Muy alta	9-10	La falla es casi inevitable.	1 en 6 >1 en 3

Tabla 2-3: Criterios y clasificación de la ocurrencia

Fuente: Manual AMEF análisis de modo y efecto de fallas potenciales

Clasificación	Habilidad para detectar
1	Detección casi segura
2	Probabilidad muy alta de detección
3	Probabilidad alta de detección
4	Probabilidad moderadamente alta de detección
5	Probabilidad moderada de la detección
6	Probabilidad baja de la detección
7	Probabilidad muy baja de la detección
8	Probabilidad remota de la detección
9	Probabilidad muy remota de la detección
10	No se puede detectar

Tabla 2-4: Criterios y clasificación de la detección

Fuente: Manual AMEF análisis de modo y efecto de fallas potenciales

CAPITULO 3: RESULTADOS

Para abordar este capítulo sobre los resultados al proyecto, respecto a los equipos de operación que ejerce en la minera Candelaria. Se procederá en la elaboración de un análisis de criticidad a los equipos, específicamente en los sistemas/subsistemas evaluando la criticidad de estos, como también empleando un análisis FMECA con el fin de entender a cabalidad como se presentan en su funcionamiento las causas y las formas en que inciden en los equipos.

3.1 Datos técnicos

Toda información técnica obtenida fue revisada y analizada para concretar a detalle todos los puntos de la manera más clara posible, para evitar confusiones en el momento de efectuar cualquier procedimiento. Esta tiene un alcance de aproximadamente cercana a los 4 meses y medio.

3.1.1 Base técnica de equipos

Modelo	Cantidad	Nº Interno	Equipo	NºSERIE
D10T-25	1	25	BULLDOZER	RAB00213
D10T-26	2	26	BULLDOZER	RAB00219
D10T-27	3	27	BULLDOZER	RAB00222
D8T-30	4	30	BULLDOZER	J8B05002
D8T-31	5	31	BULLDOZER	J8B04885
D6T-40	6	40	BULLDOZER	SMC01789
14M-20	7	20	MOTOS	R9J01067
16M-09	8	9	MOTOS	R9H00979

Tabla 3-1: Equipos de taller

Fuente: Data base Finning Truck Shop

Código/rango sistema	Sistema / Subsistema
1	Mantenimiento
8-14	Rellenos bajo nivel
15-30	Daño estructural /por golpe o corte
31-46	Elemento suelto
47-49	Sistema admisión
50-54	Sistema suspensión
55-62	Sistema de freno
63-76	Sistema eléctrico
77-82	Sistema aire acondicionado
83-87	Sistema refrigerante
88-94	Sistema motor
95-99	Sistema levante
100-103	Sistema dirección
104-107	Sistema hidráulico
108	Sistema contra incendio
109-113	Diferencial / Mando final
114-120	Transmisión / Convertidor
121-125	Sistema engrase
126	Instrumentación
127	Accidente
128	Detención operacional
129-132	Espera
133-148	Traslado

Tabla 3-2. Rango de códigos, sistemas /subsistemas de equipos

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Intervenciones y Fallas

Mediante los informes obtenidos de las intervenciones se puede concluir que alcanzan un total de 2160 de estas realizadas, cercanas a 4 meses aproximadamente de trabajo. Como se puede apreciar en la tabla 4-3, muestra a detalle su frecuencia, la acumulación y porcentaje obtenido.

Numero	Rango de valores	Frecuencia absoluta	Porcentaje	ACUMULADO	%ACUMULADO
1	1-7	523	24,21%	523	24,21%
2	8-14	283	13,10%	806	37,31%
3	15-30	227	10,51%	1033	47,82%
4	31-46	60	2,78%	1093	50,60%
5	47-49	36	1,67%	1129	52,27%
6	50-54	6	0,28%	1135	52,55%
7	55-62	62	2,87%	1197	55,42%
8	63-76	139	6,44%	1336	61,85%
9	77-82	102	4,72%	1438	66,57%
10	83-87	70	3,24%	1508	69,81%
11	88-94	69	3,19%	1577	73,01%
12	95-99	14	0,65%	1591	73,66%
13	100-103	65	3,01%	1656	76,67%
14	104-107	102	4,72%	1758	81,39%
15	108	9	0,42%	1767	81,81%
16	109-113	27	1,25%	1794	83,06%
17	114-120	116	5,37%	1910	88,43%
18	121-125	31	1,44%	1941	89,86%
19	126	7	0,32%	1948	90,19%
20	127	2	0,09%	1950	90,28%
21	128	27	1,25%	1977	91,53%
22	129-132	25	1,16%	2002	92,69%
23	133-148	158	7,31%	2160	100,00%
	TOTAL	2160	100%		

Tabla 3-3: Cálculo de intervenciones realizadas

Fuente: Elaboración propia a partir de la data base Finning truck shop

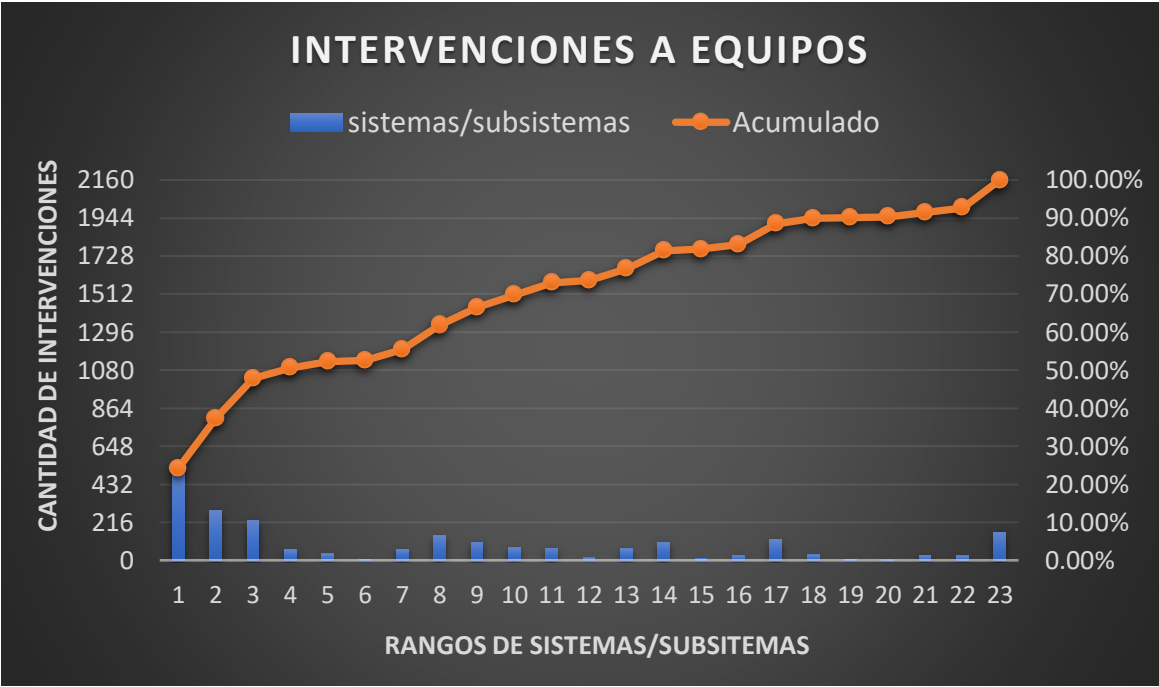


Figura 3-1: Gráfico de intervenciones realizadas

Fuente: Elaboración propia a partir de data base de intervenciones de Truck Shop Finning

En la figura (3-1), se puede apreciar la gráfica a la tabla (3-3), para dar mayor entendimiento cada rango de valores de los sistemas y subsistemas se le otorgo un valor numérico (del 1 al 23), tal como muestra la tabla (3-3), en la gráfica se sitúa en la parte inferior. Como ejemplo se puede apreciar que el valor numérico 8 de esta secuencia corresponde al rango de valores 63-76 aludiendo al sistema eléctrico, el cual tiene un total de 139 intervenciones, dando un valor de 6,44%, cercano al 10% como se muestra en el eje derecho de la gráfica.

Fallas en los equipos

Sistema / Subsistema	D10T2-25	D10T2-20	D10T2-27	D8T-30	D6T-40	14M	16M
Admisión	6	4	5	3	2	4	5
Suspensión	6	4	4	2	1	4	3
Freno	7	6	3	2	1	4	7
Eléctrico	17	11	6	17	13	8	11
Aire acondicionado	2	4	7	2	4	4	8
Refrigerante	3	3	2	4	3	5	6
Motor	9	12	7	8	5	12	14
Levante/ implementos	7	7	4	3	2	13	10
Dirección	6	8	2	3	2	10	12
Hidráulico	21	17	8	7	12	14	17
Contra incendio	0	1	1	0	1	0	1
Rodado	8	9	8	4	3	0	0
Diferencial /mando final	6	8	4	3	2	5	7
Transmisión/convertidor	7	9	4	3	2	6	9
Engrase/lubricación	1	0	1	1	1	2	3
Instrumentación	3	4	2	2	4	5	9
Total de fallas	109	107	68	64	58	96	122

Tabla 3-4: Fallas en los sistemas/Subsistemas de los equipos

Fuente: Elaboración propia a partir de la data base Finning truck shop

En la tabla 3-4 se muestra el detalle de las fallas que presentaron los equipos según su modelo, para cada sistema y subsistema.

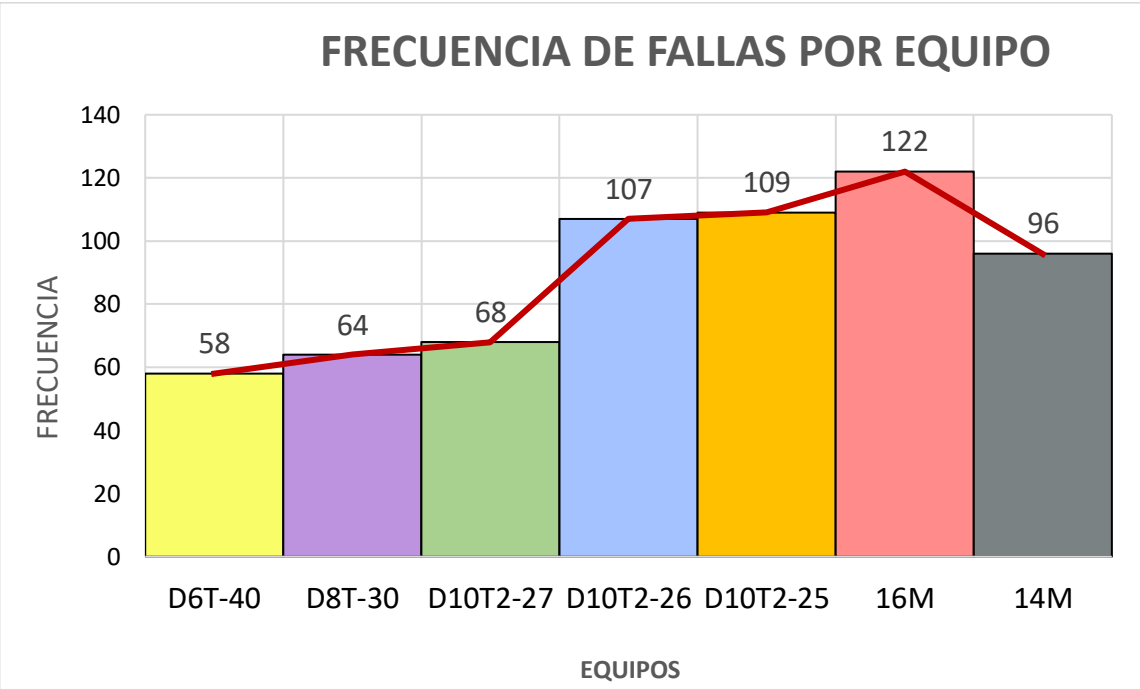


Figura 3-a: Gráfica total de frecuencia de fallas por equipos

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica de frecuencia de falla, se observa el total de estas fallas que presento cada equipo, durante un periodo dado de cercano a los 4 meses, se subdividen los dos equipos Bulldozer con los modelos DT y las motoniveladoras con la serie M.

3.2 Aplicación de técnicas de análisis para los equipos

Para el desarrollo del análisis de criticidad según modelo de riesgo, se debe tener en cuenta ciertos parámetros o criterios de criticidad de los cuales cada uno de estos, pondera un puntaje según el nivel en que se encuentren cada factor, lo cual va resultando una calificación final. Para la obtención de estos se llegó a un acuerdo con personal de la empresa la cual facilito poder obtener un consenso de todo tipo de información de los equipos, operadores técnicos, ingenieros y reportes. Los criterios se muestran a continuación (tabla 3-4).

Criterio	calificación	Opciones
Frecuencia de fallas	4	mayor a 12 fallas por año
	3	Entre 6 y 12 fallas por año
	2	Entre 2 y 6 fallas por año
	1	Menos de 2 falla por año
Impacto operacional	10	Pérdida total de equipo
	7	Parada del sistema/subsistema y repercute otros sistemas
	4	Impacta en niveles de inventario y calidad
	1	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción
Flexibilidad operacional	4	No existe opción de producción y no hay función de repuesto
	2	Hay función de repuesto compartido/almacén
	1	Función de repuesto disponible
Costo operacional	3	Mayor o igual a 600.000 CLP
	2	Entre 250.000 – 575.000 CLP
	1	Inferior a 250.000 CLP
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	1	Mayor a 5 horas
	2	Menor a 5 horas
Impacto en seguridad y ambiente	8	Afecta a la seguridad del personal
	7	Afecta al ambiente/ instalaciones
	5	Afecta a las instalaciones con daños severos
	3	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)
	1	No provoca ningún tipo de daño en cualquier índole

Tabla 3-5: Criterios para evaluación de criticidad

Fuente: Elaboración Propia

Sistema	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Tiempo promedio para reparar	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento	Impacto en seguridad y ambiente	Consecuencia	Criticidad
Admisión	3	4	1	1	1	1	6	18
Suspensión	2	7	1	2	1	1	16	32
Freno	4	4	2	2	1	1	18	54
Eléctrico	4	7	2	2	2	3	19	132
Aire acondicionado	4	1	1	1	1	1	3	16
Refrigerante	3	1	1	1	1	1	3	9
Motor	4	7	2	2	3	3	20	136
Levante	3	4	2	2	2	1	11	57
Dirección	4	7	1	2	2	1	17	68
Hidráulico	4	7	2	4	2	1	31	192
Contra incendio	1	1	1	1	1	3	5	5
Rodado	3	7	1	1	1	1	9	27
Diferencial /mando final	3	7	1	2	2	1	17	51
Transmisión/convertidor	4	7	2	4	3	1	34	184
Engrase/lubricación	2	2	1	1	1	1	4	8
Instrumentación	2	2	1	1	1	1	4	8

Tabla 3-6: Evaluación de los sistemas y subsistemas de Bulldozer, por el modelo de criticidad de riesgo

Fuente: Elaboración Propia

Sistema	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Tiempo promedio para reparar	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento	Impacto en seguridad y ambiente	Consecuencia	Criticidad
Admisión	3	4	1	1	1	1	5	15
Suspensión	2	4	1	2	1	1	9	18
Freno	4	4	1	1	1	1	5	20
Eléctrico	4	4	1	2	2	3	11	44
Aire acondicionado	4	1	1	1	1	1	2	8
Refrigerante	3	1	1	1	1	1	2	6
Motor	3	7	1	2	1	1	15	45
Levante	3	4	1	2	2	1	9	27
Dirección	4	7	1	2	2	1	15	60
Hidráulico	4	7	2	4	2	1	57	228
Contra incendio	1	1	1	1	1	3	4	4
HTA de trabajo	4	7	2	1	2	1	15	60
Diferencial /mando final	3	7	1	1	2	1	8	24
Transmisión/convertidor	2	7	1	1	2	1	8	16
Engrase/lubricación	2	2	1	1	1	1	3	6
Instrumentación	2	2	1	1	1	1	3	6

Tabla 3-7: Evaluación de los sistemas y subsistemas de Motoniveladora, por el modelo de criticidad de riesgo

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Resultados análisis de criticidad

se toman los datos de frecuencia de fallas y consecuencia obtenida de cada sistema (tabla 3-5), de esta manera se pretende obtener el valor numérico de la criticidad de los sistemas. Para facilitar su interpretación, se aplica la matriz de criticidad (figura 2-3), el cual se aplica al procedimiento (ver sección 2.3.1 metodología de cálculo).

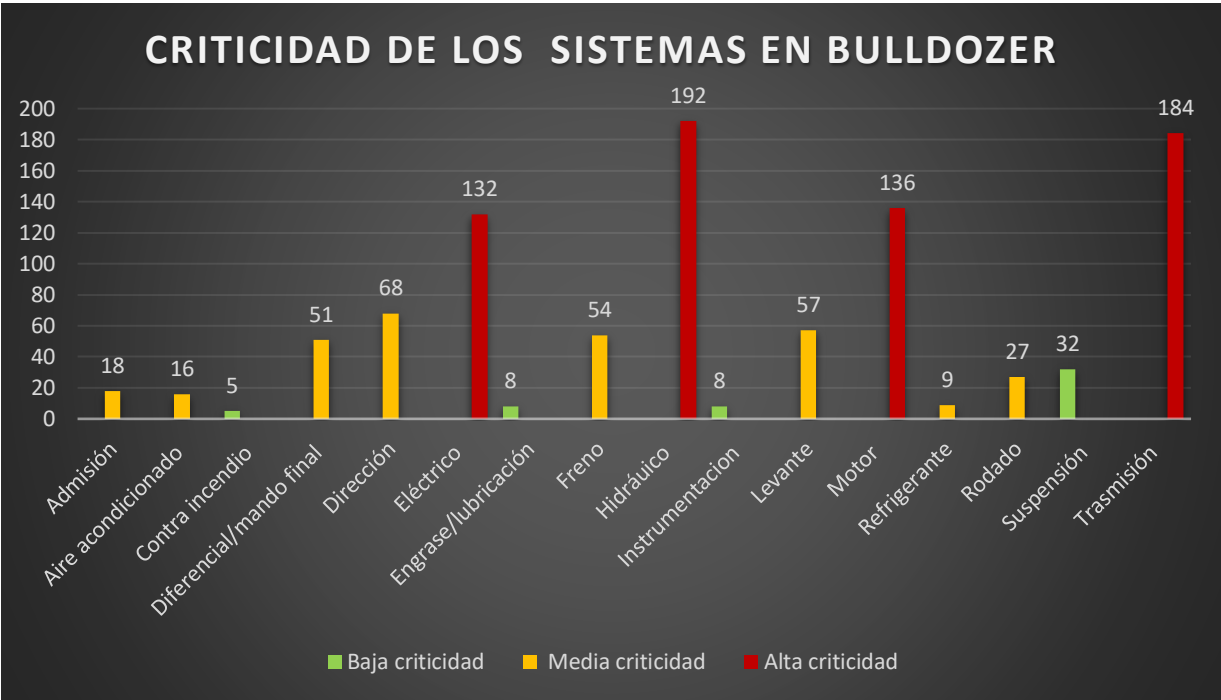


Figura 3-2: Gráfica de criticidad en sistemas de equipos Bulldozer, basado por el modelo de riesgo

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa (figura 3-2), los resultados del análisis de criticidad basado por el modelo de riesgo, cada sistema pondero una calificación que a su vez es clasificada según su índice de criticidad, esta fue determinada a través de los colores verde para sistemas de baja criticidad, amarillo para sistema de media criticidad y rojo para sistemas de alta criticidad.

En consecuencia, los sistemas que representaron la zona asignada para alta criticidad son.

- Sistema hidráulico
- Sistema Eléctrico
- Sistema Motor
- Sistema de Trasmisión

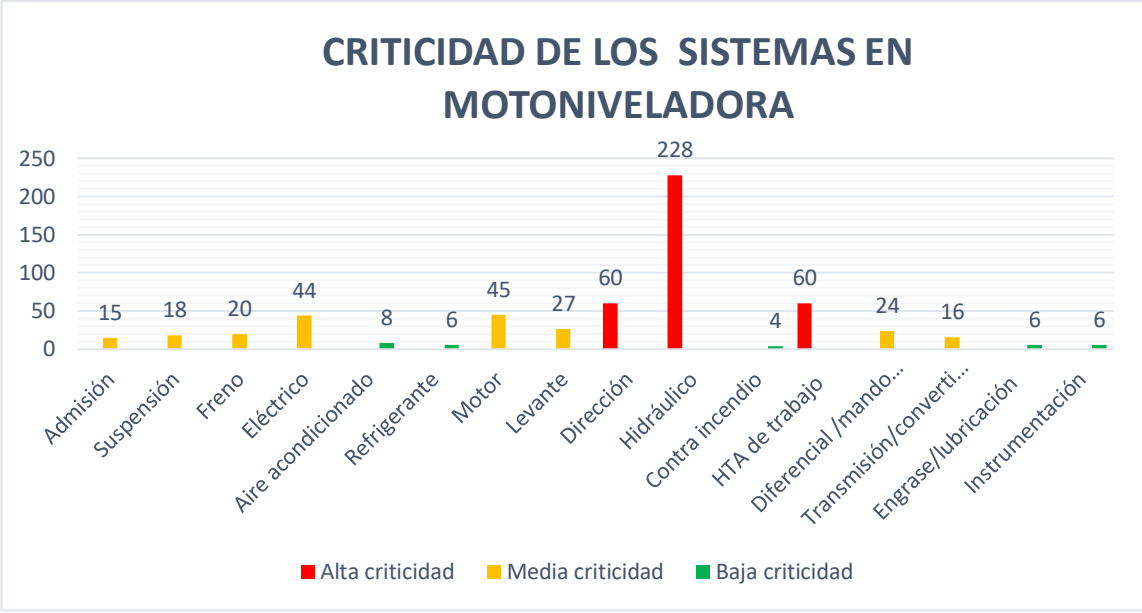


Figura 3-3: Gráfica de criticidad en sistemas de equipos Motoniveladora, basado por el modelo de riesgo

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa (Figura 3-3), que se procedió aplicar el mismo rigor de procedimiento, pero esta vez para los sistemas de equipos de motoniveladora, determinando los sistemas de la zona de más alta criticidad.

- Sistema Hidráulico
- Sistema Herramientas HTA de trabajo
- Sistema Dirección

3.4 Diagrama FMECA

Para el desarrollo del análisis de modo, efecto de falla y criticidad, serán incluidos en el estudio los sistemas que más representaron la zona de alta criticidad, los cuales se mencionó en el punto anterior.

Mediante la realización del análisis de FMECA se logrará adentrar e investigar en las maneras, causas o modos de falla que hay en dichos sistemas y cuáles son los efectos que inciden por estas fallas y que componentes están comprometidos. Se asignará un puntaje para severidad, ocurrencia y detección en cada uno de estos puntos y el producto entre ellos, entrega como resultado el número prioritario de riesgos (NPR). para mayor información para el análisis FMECA, revisar sección 2.5

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 1	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	HIDRÁULICO					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Mangueras/ Cañerías hidráulicas	Filtración de aceite hidráulico	Pérdida de aceite hidráulico en depósito/tanque y consumo excesivo de este. Pérdida de eficiencia en sistema, posible entrada de contaminación al sistema		Cortes y daños	5	7	1	35
				Roces entre flexibles	5	7	1	35
				Baja sujeción en conectores y/o abrazaderas	3	5	2	30
				Diseño de fabricación defectuoso	6	2	5	60
Bomba hidráulica	Funcionamiento errático o nulo	Repercusión en daños a componentes		Contaminación aceite hidráulico	7	6	2	84
		Operación errática, altas temperaturas en bomba hidráulica		Aireación	4	3	3	36
		Erosión interna en las paredes de la bomba, ruido, disminución de presión		Cavitación	7	3	2	42
		Pérdida de caudal		Recalentamiento	6	4	3	72
		Mal funcionamiento del componente		Diseño de fabricación defectuoso	6	2	5	60

Tabla 3-8: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 2	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	HIDRÁULICO					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Aceite hidráulico	Aceite hidráulico en deplorables condiciones	Reducción de eficiencia, Daño a componentes hidráulicos ej. (válvulas bombas, motor)		Existencia de particulado	7	6	3	126
				Filtro saturado o cambio tardío	3	2	1	6
				Cambio de aceite de forma tardía	4	2	1	8
		Pérdida de las propiedades del aceite		Oxidación	3	3	2	18
				temperatura inadecuada	7	5	3	105

Tabla 9-9: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 3	EVALUACIÓN				
		SISTEMA:	ELÉCTRICO						
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP	
Focos de alumbrado	No enciende, funcionamiento errático	Baja o nula visibilidad para efectuar trabajos, riesgos de posibles accidentes		Circuitos o cables dañados/quemados/desconectados/fuente de alimentación sin carga		3	4	2	24
Focos de advertencia									
Tablero de instrumentación	Alarmas/códigos ON	Alarma inminente en tablero, sistema no funciona o puede presentar funcionamiento errático al ejecutar		Sensores trabados		7	6	5	210
				Sensores desconectados					
				Sensores dañados					
				Sensores sulfatados					
				Sensor con contaminación					
Motor de arranque	Equipo no enciende	No hay funcionamiento del equipo o sistema lo haga de manera no optima.		Batería sin carga		4	5	2	40
				Llave de contacto averiada		2	2	2	8
				Relé de arranque dañado		3	2	2	12
				Solenoides del motor trabado o dañado		8	2	2	32
				Disyuntor errático o mal estado		3	2	2	12

Tabla 3-10: Hoja de FMECA a Sistema Eléctrico

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 4	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	ELÉCTRICO					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Alternador	Alternador con nula o baja generación eléctrica.	Pérdida de tensión eléctrica.		Estator dañado	8	3	4	96
		Deficiente tensión eléctrica o nula.		Rotor dañado	8	3	4	96
		Disminución progresiva de la tensión eléctrica.		Escobillas gastadas	5	5	3	75
		Falla en la conversión de corriente.		Puente rectificador dañado	5	3	3	45
		Pueden ocasionar Cortocircuitos, o cables quemados.		Problemas de cableado	5	5	5	125
		Pérdida de tensión eléctrica o funcionamiento del componente.		Polea dañada, correa rota o sin ajuste de tensión	8	7	2	112

Tabla 3-11: Hoja de FMECA a Sistema Eléctrico

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 5		EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	MOTOR						
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP	
Motor	Baja potencia	Cualquier problema en estos tres sistemas tanto en sus líneas o componentes darán una deficiencia en la potencia ya que están directamente relacionado con esta.		Problemas en sistema de combustible	7	7	5	245	
				problemas en sistema de admisión	7	7	3	147	
				problemas en la cámara de combustión	7	7	4	196	
Junta de Culata	Fuga de aceite motor	Se Pierde hermeticidad, se mezcla refrigerante con aceite		Desgaste y mal ajuste de las juntas o empaquetaduras de la tapa de culata.	8	6	2	96	
		Problema en sistema refrigerante provocando elevadas temperaturas en motor		Rotura de asientos y guías de válvulas por sobrecalentamiento	8	7	2	112	

Tabla 3-12: Hoja de FMECA a Sistema Motor Diesel

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 6	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	MOTOR					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Anillos del pistón	Filtración	Rayado a las camisas y pistones, pérdida de aceite.		Desgaste	8	4	5	160
		El sistema de motor hará un consumo mayor de aceite.		Fractura	8	3	5	120
Inyectores electrónicos	Funcionamiento errático	Problemas en la sincronización y duración		Módulo de control electrónico con errores (ECM)	8	2	5	80
		inyección Inyección nula o forma inadecuada		Solenoides dañados	7	3	4	84
		Daños en los componentes de la cámara de combustión y de motor por contaminantes		Obstrucción de boquilla o componentes del inyector por contaminantes	8	4	3	96

Tabla 3-13: Hoja de FMECA a Sistema Motor Diesel

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 7	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	MOTOR					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Culata	Grietas	Motor pierde potencia		Válvulas dañadas perdida de compresión	8	2	2	32
				Junta dañada	8	6	2	96
				Fugas en la culata	8	3	3	72
	Deformación	Superficie de asiento culata irregular		temperaturas excesivas	8	2	2	32
				Esparrago de culata roto	7	4	3	84
				Sujeción inadecuada o irregular en block	6	3	3	54
Árbol de levas	Sincronización errónea	Pérdida de potencia del motor		Ensamble incorrecto	8	2	5	80
				Con Juego axial	7	2	5	70
				Tiempo de uso	7	2	5	70
	Desgaste	Vibración en tren de balancines		Falta de lubricación	6	2	5	60
		Mayor temperatura, mayor esfuerzo mayor consumo de combustible Ineficiencia de trabajo.		Viscosidad inadecuada en aceite	5	2	3	30
		Pérdida de potencia del motor		Presión entre las superficies	5	2	5	50

Tabla 3-14: Hoja de FMECA a sistema Motor Diesel

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	BULLDOZER	HOJA 8	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	TRANSMISIÓN					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Convertidor de torque	Funcionamiento errático	Daño de diferentes grados de condiciones en componentes internos del convertidor de torque.		Degaste	5	5	5	125
				Grietas	6	2	5	60
				Por contaminación	5	6	4	120
				Cavitación	8	3	5	120
Trasmisiones hidráulicas planetarias -contraejes	Funcionamiento errático	Aumento de fricción entre piezas, nulo soporte de altas cargas		Cojinetes o casquillos desgastados	6	5	5	150
		Inciden en el óptimo funcionamiento del sistema		Sellos dañados	5	5	3	75
				Desgaste Plancha de fricción	5	3	5	75
		Daños a la totalidad de componentes si no es tratada		Contaminación	7	5	2	70
		Inhabilitación del sistema		Ruptura de engranajes	8	4	4	128
		Inhabilitación del sistema de manera gradual		Degaste o picaduras de engranajes	8	5	3	120

Tabla 3-15: Hoja de FMECA a Sistema de Trasmisión

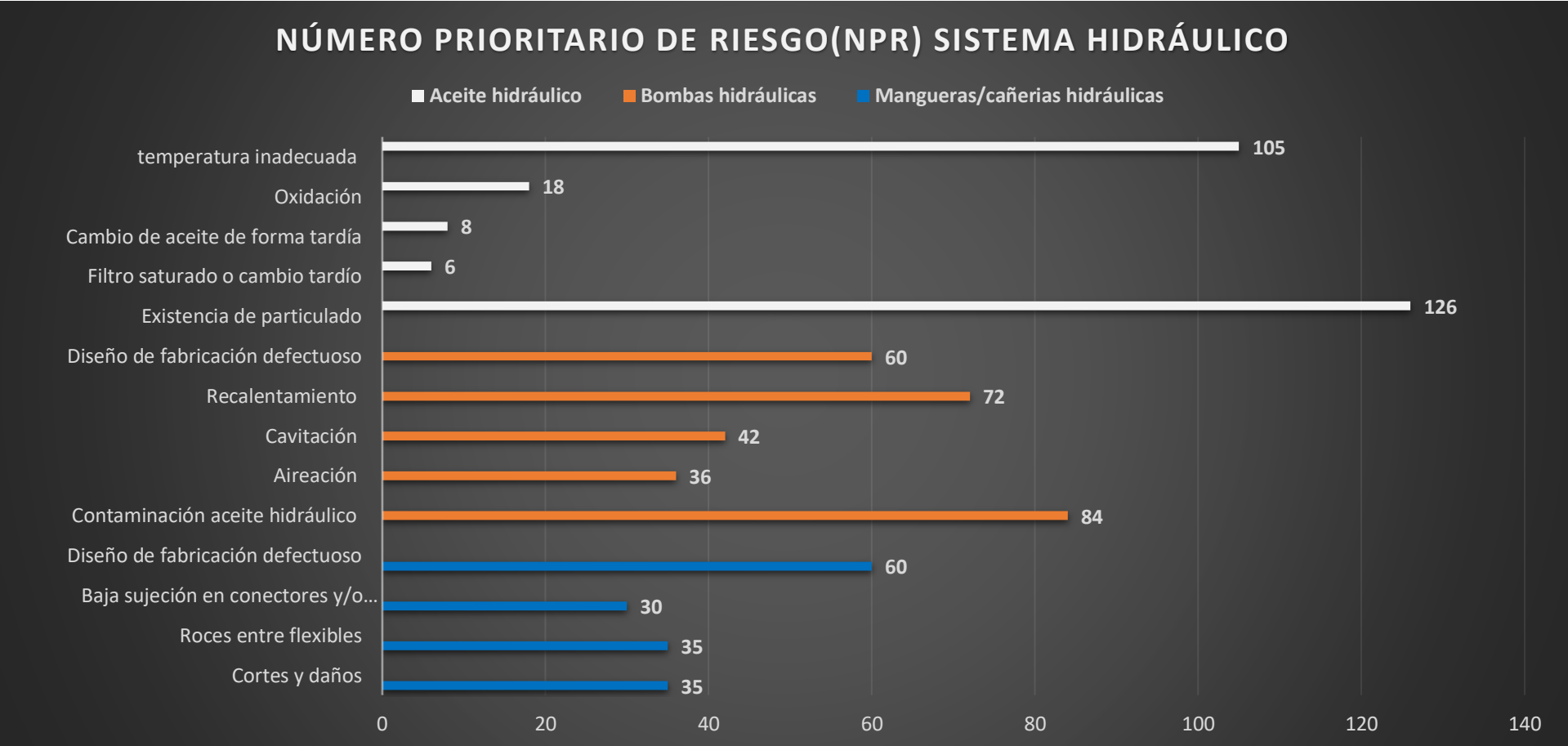


Figura 3-4: Gráfica NPR del Sistema Hidráulico Bulldozer

Fuente: Elaboración propia

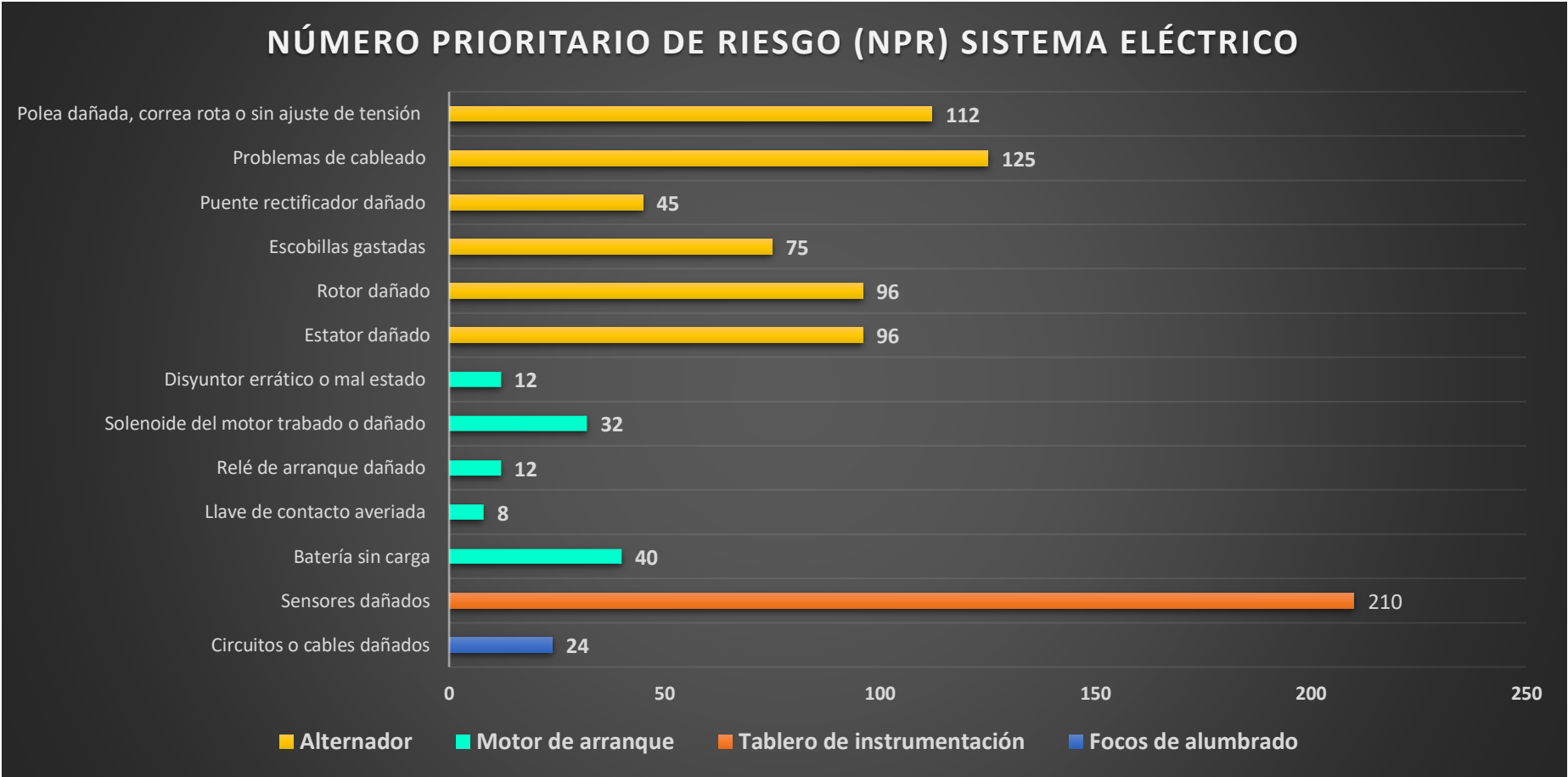


Figura 3-5: Gráfica NPR del Sistema Eléctrico Bulldozer

Fuente: Elaboración Propia

NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGO (NPR) SISTEMA MOTOR

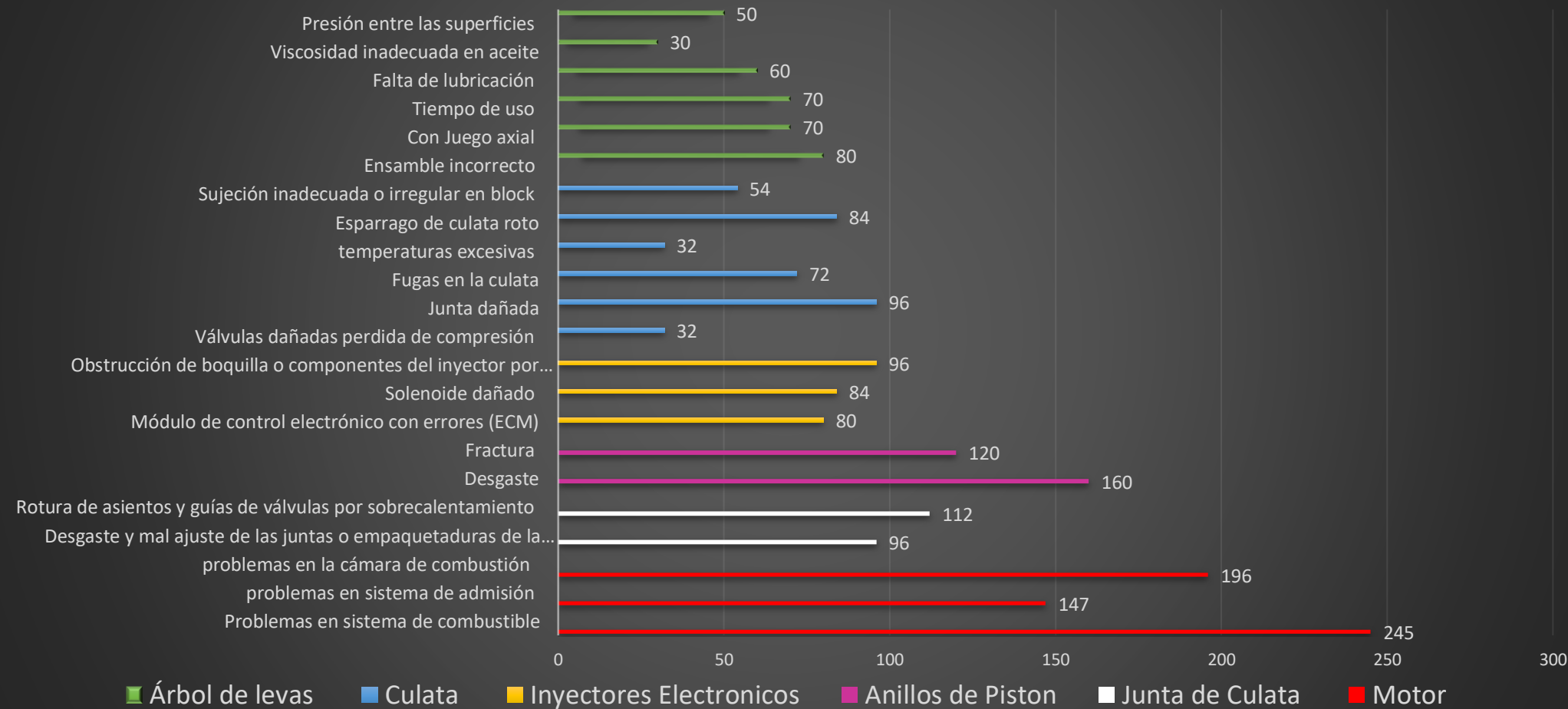


Figura 3-6: Gráfica NPR del sistema Motor Bulldozer

Fuente: Elaboración propia

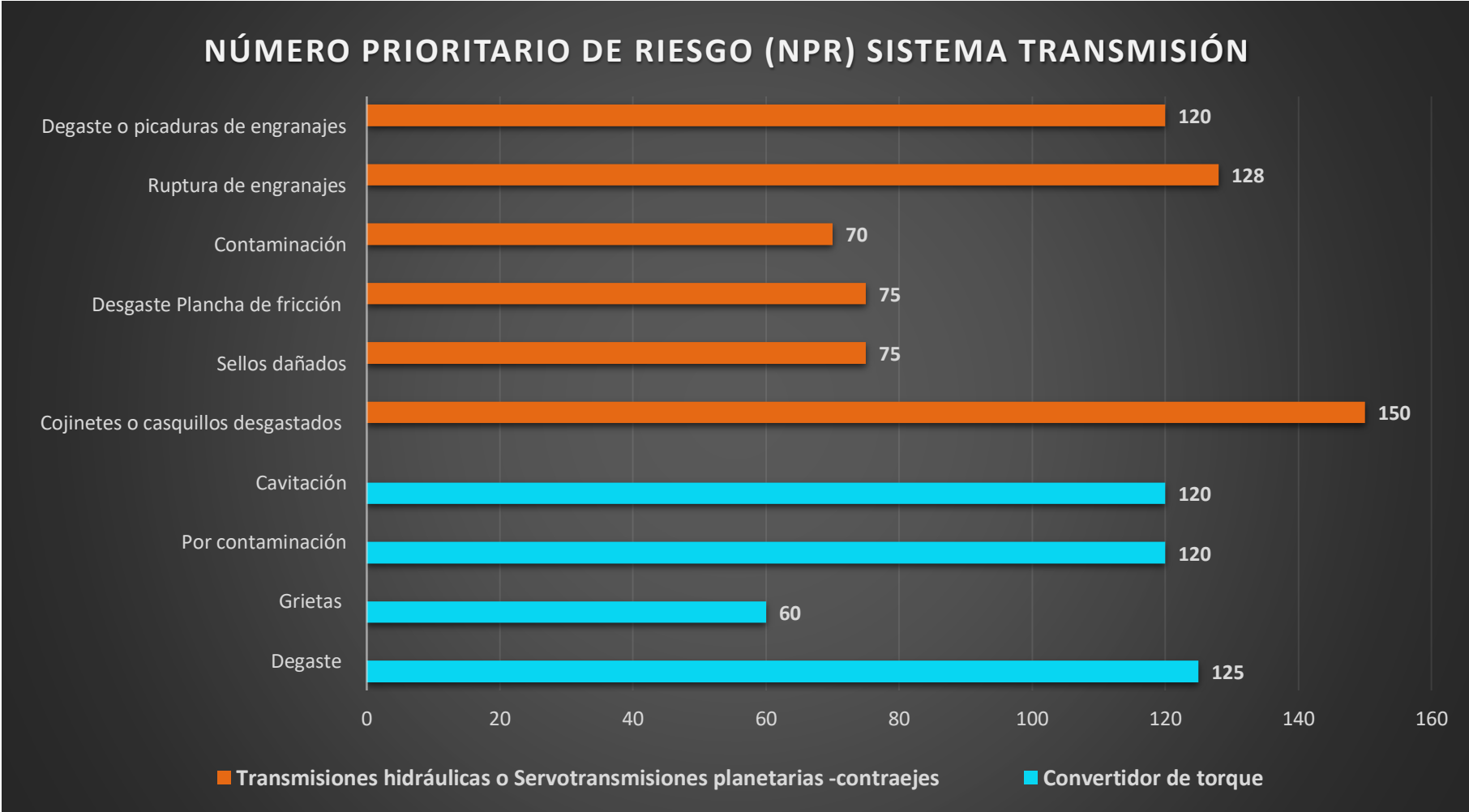


Figura 3-7: Gráfica NPR del Sistema de Transmisión Bulldozer

Fuente: Elaboración propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	MOTONIVELADORA	HOJA 9	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	HIDRÁULICO					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Equipo	Fuga hidráulica	Sistema queda inoperativo, perdida de aceite y consumo excesivo		roce, cortes líneas hidráulicas	5	7	1	35
				incorrecta instalación bomba fan	7	4	3	84
				incorrecta instalación bomba de implementos	4	6	2	48
				fisuras, gritas tanque hidráulico	7	6	2	84
				incorrecta instalación enfriador hidráulico	5	3	2	30
				roces cortes de cañerías	5	7	1	35
Aceite hidráulico	Contaminación	Reducción de eficiencia, daño a componentes y perdidas de propiedades del aceite		Silicio(tierra)	6	7	2	84
				Agua	5	7	3	105
				Cobre	5	4	3	60
				Sodio	5	5	3	75
				Hierro	7	6	3	126

Tabla 3-16: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	MOTONIVELADORA	HOJA 10	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	HIDRÁULICO					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Ventilador	No gira o con baja velocidad	Se activa alarma de temperatura, por sobrecalentamiento en el sistema		Baja presión bomba fan, por daños o desgaste	5	6	3	90
				Daño drive motor	6	3	6	108
				Tanque hidráulico sin aceite por fuga	7	5	2	70
				Válvula solenoide compensadora con problemas	4	5	4	80
				Motor del fan desgaste interno	6	3	3	54
				Instalación incorrecta del componente	5	3	3	45
Implementos cilindros	Funcionamiento ineficiente o lentos	Incapacidad de operar con normalidad las funciones del equipo		Tanque hidráulico sin aceite por fuga	6	3	1	18
				Problemas en bomba	5	4	4	80
				Spool de válvula con particulado	6	4	3	72
				Fuga interna cilindros	7	7	2	98

Tabla 3-17: Hoja de FMECA a Sistema Hidráulico

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	MOTONIVELADORA	HOJA 11	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	DIRECCIÓN					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Control en la dirección	Equipo no es capaz de girar en ningún sentido	Equipo queda inoperable		Válvula de dirección, control y frenos con problemas	5	5	3	75
				Varillaje suelto de dirección o ajuste incorrecto	4	3	2	24
				Baja presión de aceite en válvulas de dirección y freno	6	4	4	96
				Daños o problemas con embrague de dirección	5	6	3	90
				Daños cojinetes del pivote de dirección	5	3	2	30
				ruptura cilindros de inclinación de rueda	7	4	2	56
				Fuga cilindros de inclinación de rueda	5	7	2	70
				Ruptura cilindro dirección	7	3	2	42
				Fuga cilindro dirección	6	3	2	36
				Daños rotula de la barra de tiro	5	3	3	45

Tabla 3-18: Hoja de FMECA a Sistema Dirección

Fuente: Elaboración Propia

COMPONENTE/ ELEMENTO	FMECA	EQUIPO:	MOTONIVELADORA	HOJA 12	EVALUACIÓN			
		SISTEMA:	HTA DE TRABAJO					
	FALLA FUNCIONAL	EFECTO		MODO DE FALLA	S	O	D	NRP
Hoja topadora o vertedera	Lentitud en la hoja funcionamiento anormal	Pérdida de eficiencia del equipo para producir óptimamente		Grieta en la cuchilla	5	6	3	90
				Grietas en la hoja	7	5	3	105
				Fuga en cilindro levantamiento hoja	5	6	2	60
				Daño soporte inclinación de la hoja	5	3	3	45
Tornamesa o círculo	Inestabilidad, golpeteo, vibración	Pérdida de eficiencia del equipo para producir óptimamente		Pernos y tuercas de sujeción sueltas	4	3	2	24
				Platinas de desgaste dañadas	5	6	3	90
				Daño Engranajes de rotación	8	5	3	120
				Falta de lubricación	4	4	2	32
				Daños barra de tiro	7	3	3	63
				Fuga en líneas hidráulicas	7	5	1	35

Tabla 3-19: Hoja de FMECA a Sistema HTA Trabajo

Fuente: Elaboración Propia

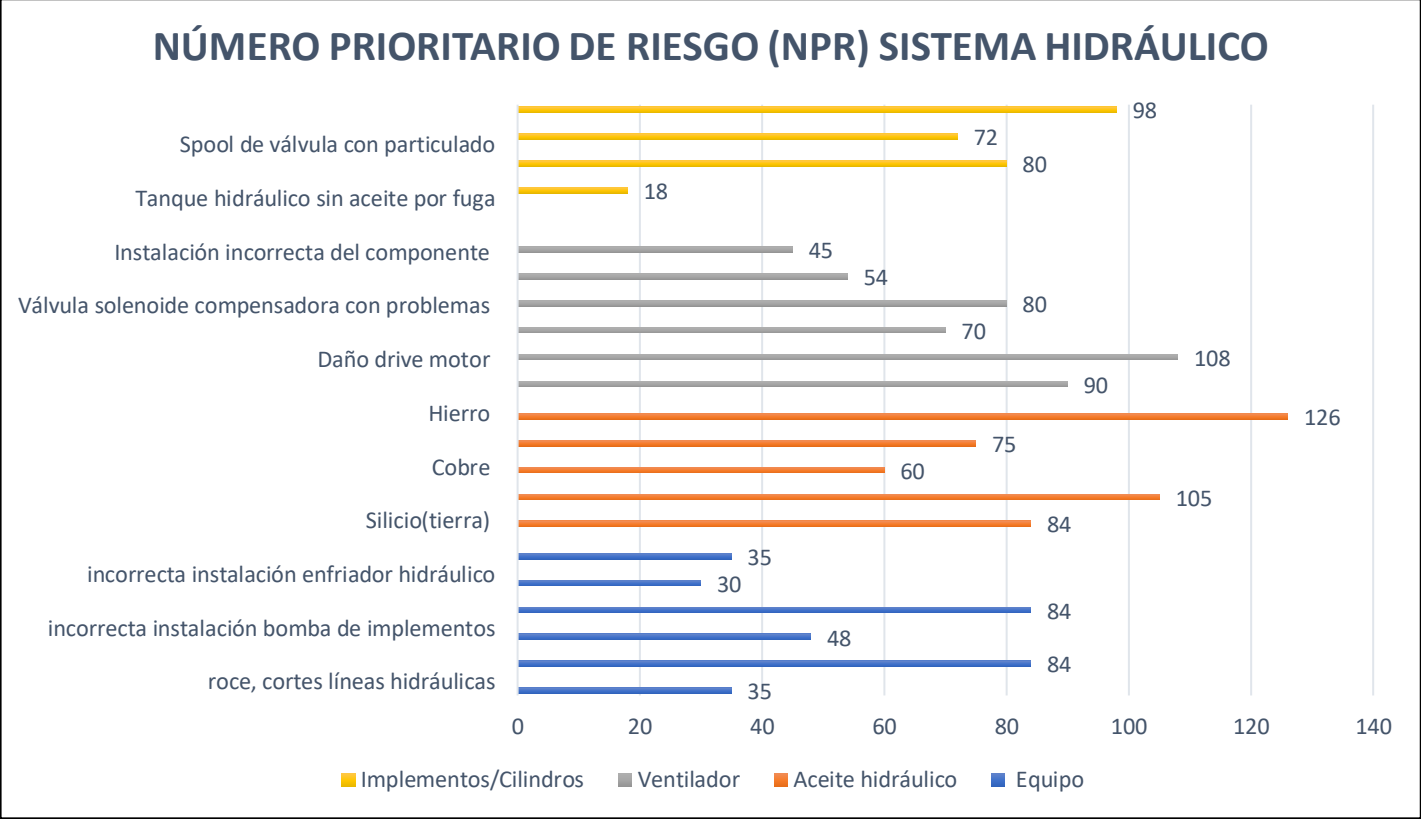


Figura 3-8: Gráfica NPR del Sistema hidráulico Motoniveladora

Fuente: (Elaboración propia)

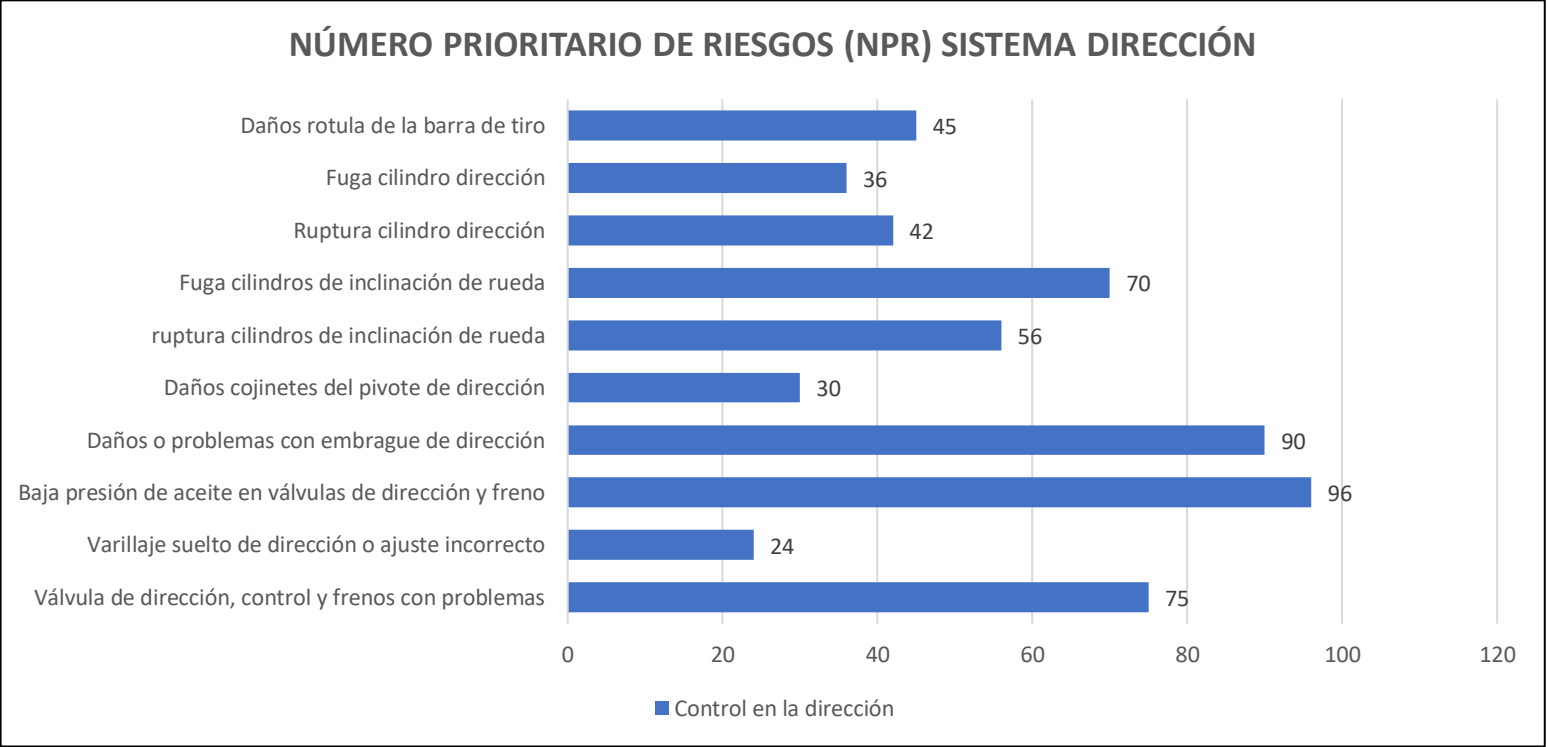


Figura 3-9: Gráfica NPR del Sistema Dirección Motoniveladora

Fuente: Elaboración propia

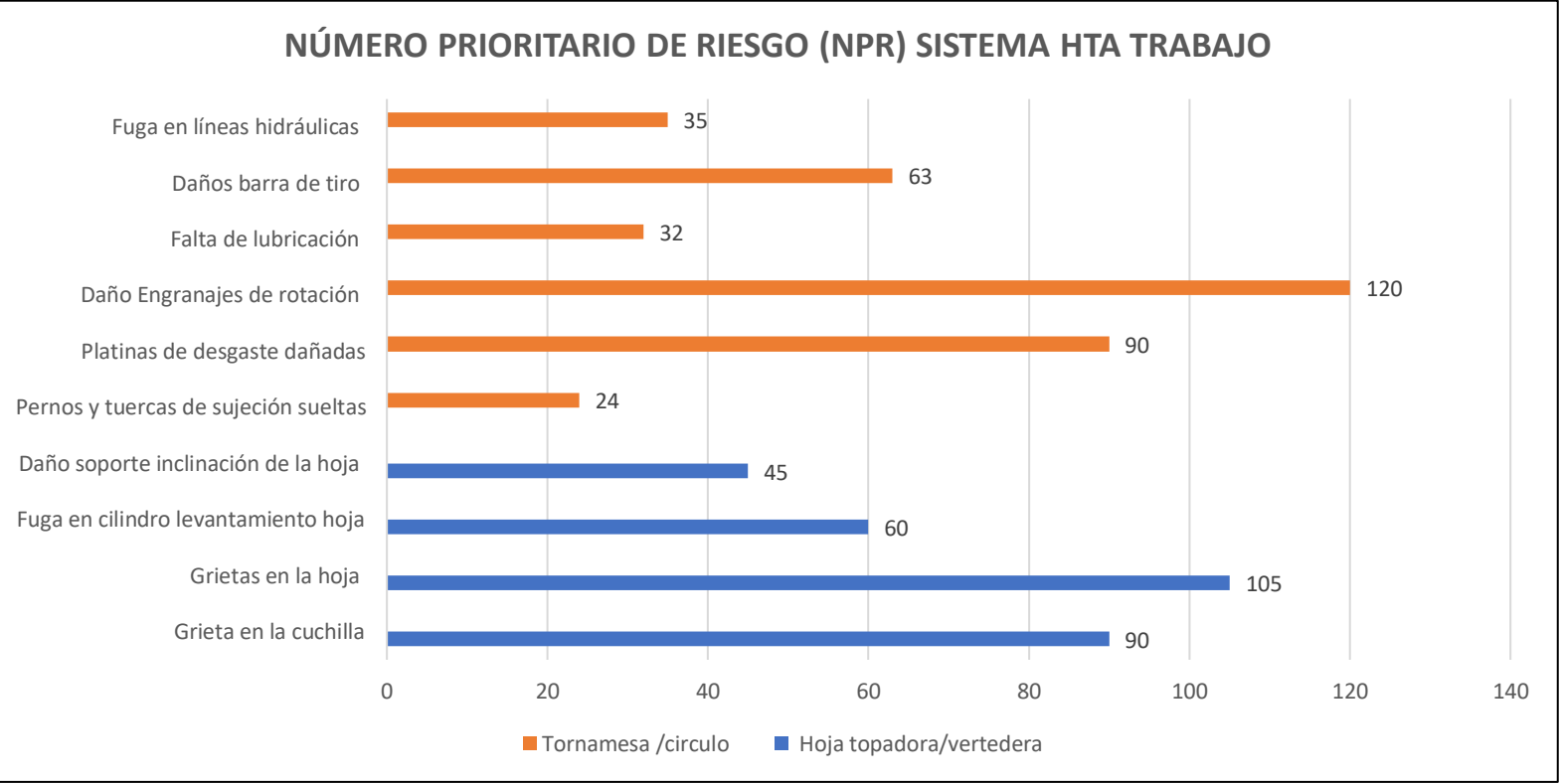


Figura 3-10: Gráfica NPR del Sistema HTA Trabajo Motoniveladora

Fuente: Elaboración propia

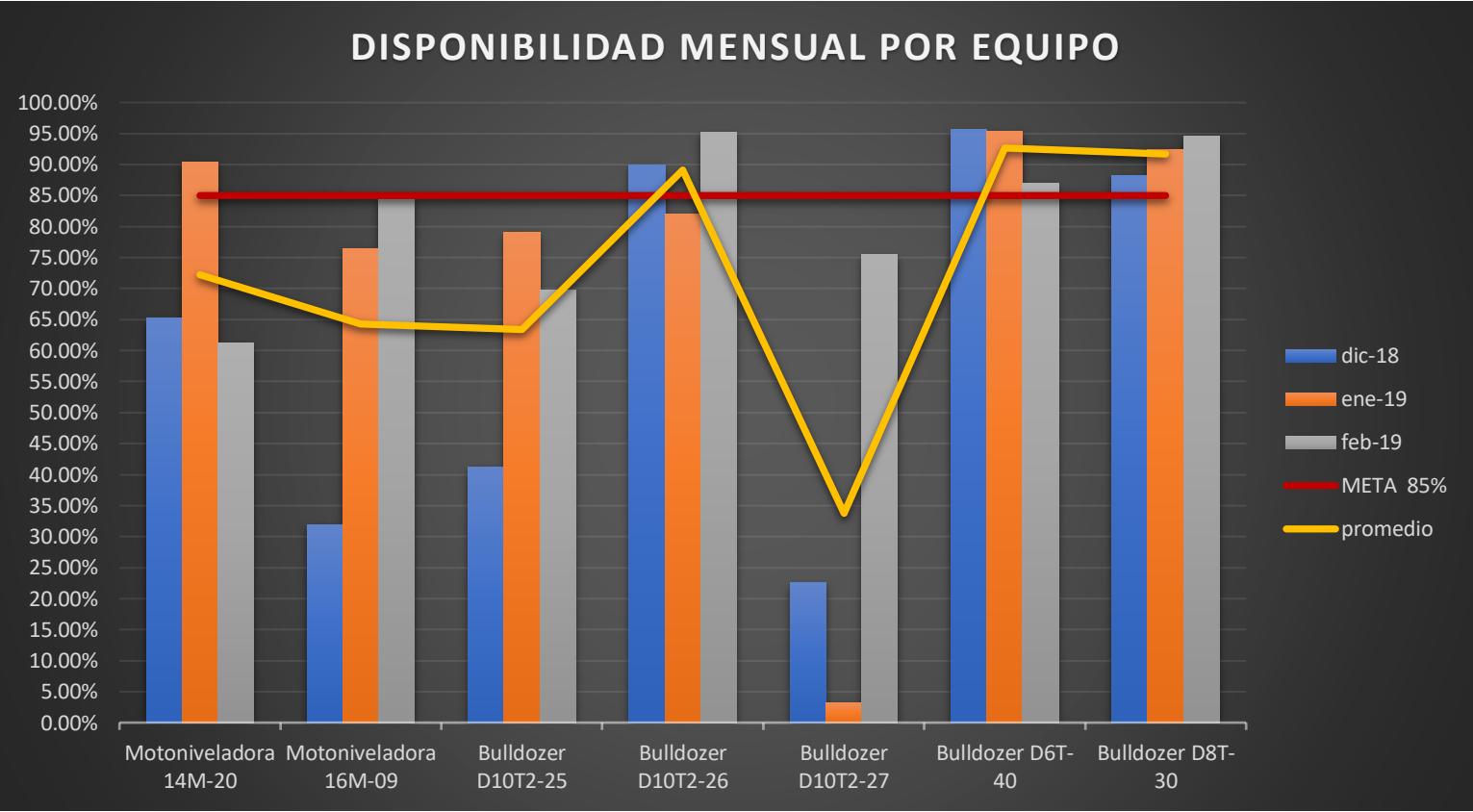


Figura 3-11: Gráfica de disponibilidad mensual en equipos

Fuente: Elaboración Propia a partir de la data base Finning truck shop

3.4.1 Interpretación de gráficas y resultados FMECA

Después de la realización del análisis en las tablas y su gráfica correspondiente a cada sistema, se puede deducir que las causas que tienen un mayor número prioritario de riesgo (NPR), son las que necesitan estar en constante atención por parte del equipo de trabajo en mantenimiento y planes de prevención, con el propósito de poder minimizar los modos en que se representan las fallas funcionales.

Cuando los modos de fallas entre si ponderan un NPR semejante, se tiene que lograr identificar cual de ambos es el más crítico o esta en una clasificación más alta. Para ello se habló con personal de la empresa y junto a la recolección de información dada, se determinó que hay que indagar en el puntaje tanto en la ocurrencia, detección y severidad, siendo esta ultima un factor muy importante que logra definir un elemento sobre otro.

En la gráfica de disponibilidad de equipos (figura 3-10), abarca los meses de diciembre del año 2018 hasta febrero del 2019. Durante ese periodo se contempla la disponibilidad para estos meses los equipos de apoyo en operación mina, como son motoniveladora, y bulldozer con sus respectivos modelos. Teniendo este último en sus modelos D10T27 un déficit de disponibilidad del 3% considerándose el mes de enero el más bajo y el más alto en marzo de un 75%, a pesar del repunte obtenido en este mes, no cumple con el requerido por la empresa que bordea el 85% de disponibilidad por equipo.

En cuanto a las motoniveladoras sus modelos 14M y 16M, ambas cumplieron dicha meta solo un mes del periodo representado. Para los Bulldozer D6T Y D8T cumplieron exitosamente el periodo superando incluso el porcentaje requerido por la empresa, promediando respectivamente un 91% y 92% en el trimestre. Aunque aún se necesita más tiempo para, un mejor análisis de estos modelos ya que las fallas que presentaron fueron mínimas por ser equipos relativamente muy nuevos y solo necesitan mantenciones programadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo de título da una resolución clara a la necesidad de abordar la problemática de la empresa Fining Cat, cuya operación se ejerce en la Minera Candelaria. Dicho problema se enfoca en la carencia del estado de criticidad en los equipos de apoyo en operación mina, para proceder a orientar más la atención a los recursos y priorización de mantenciones y planes preventivos.

Con la definición de objetivos presentados y el posterior análisis realizado se puede concluir que el análisis de criticidad y la realización del FMECA a los equipos, es una alternativa viable de confiar siempre y cuando se pueda acceder, recopilar e investigar toda la información necesaria para llevar a cabo de manera óptima dicho análisis, lo cual no siempre presenta un escenario tan fácil de llevar sobre todo por temas a cuanto contabilidad, costos e ingresos, por ser confidenciales por parte de clientes, en este caso la minera por sobre la empresa a cargo del servicio. Por ende, los datos en cuanto a tema de costos, ingresos y contabilidad en este estudio fueron de manera referencial y no asocia los casos a consideraciones concretas.

Los resultados del análisis ayudaran a mitigar la brecha de parada de producción ya que tendrán la base para que presenten datos determinados, fallas funcionales, modos de falla y efectos de estas, asociadas en los sistemas que se representan. De los cuales sirvan para deducir la toma de decisiones acertadas y con tiempo de antelación oportunos para minimizar en lo posible una causa de falla potencial en los equipos, sistemas o subsistemas de este.

Se concluye que los sistemas más críticos del primer análisis de criticidad basado en la matriz para evaluar el riesgo, fueron sistema motor, sistema eléctrico, sistema hidráulico y sistema transmisión y para los equipos de la serie M de Motoniveladoras a través de este método se dio respuesta a los sistemas más críticos, los cuales fueron sistema hidráulico, sistema HTA de trabajo y sistema de dirección. Esta metodología nos dio saber de manera preliminar que sistemas hay que dar mayor prioridad a considerar en cuanto a criticidad y riesgo y de estos pasar a una metodología más exhaustiva que corresponde a la metodología FMECA (presentes en la sección 3.4). Para la resolución del análisis se indagó en información obtenidas por personal de mantención, técnicos de Truck Shop (área asignada al mantenimiento y nave de equipos) de la empresa.

De la obtención de los resultados se concluye que las causas de falla que presentaron mayor NPR, son las más determinantes en la parada obligatoria del equipo y esto se ve reflejado en el gráfico de disponibilidad de equipos (figura 3-11), donde los equipos Bulldozer (tractor de cadenas), presentaron fallas en estos sistemas, como también

las Motoniveladoras modelos 14M y 16M. No cumpliendo con la disponibilidad requerida mensual, 85%.

Mediante el desarrollo de este estudio y la recopilación de información obtenida se recomienda:

- Reforzar los controles de contaminantes en sistemas, componentes, fluidos y almacenamiento o las vías donde puedan ingresar en el equipo, la empresa esta consciente de ello y tienen planes para mitigar la contaminación, pero las fallas demostradas en los análisis por esta causa son considerables.
- Gestionar el stock de repuestos a menos tiempo de espera, sobre todo para componentes de sistemas críticos, con una alta frecuencia de falla.
- Indagar en la recolección de datos tanto técnicos, fallas procesos, cambios, bitácoras con personal involucrado de mantención y operación, para instaurar la metodología FMECA a todos los equipos pertenecientes a la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR -OTERO (s.a). Tecnología, Ciencia y Educación (IMIQ). Vol. 25. N° 1.

AMEF. (2008). Análisis de Modo y Efecto de Fallas Potenciales, Cuarta Edición.

CATERPILLAR (2003). Manual de Servicio Maquinaria Pesada Edición 15.

DURÁN, José B. (2000). ¿Qué es la confiabilidad Operacional? Revista club mantenimiento. Año 1. N°2.

EN – European Norm. (2011). Terminología del Mantenimiento UNE – EN 13306:2011. Madrid,

GARCÍA Palencia, Oliverio. (2012). Gestión moderna del mantenimiento industrial. Colombia, Ediciones de la U.

FINNING, Cat. (s.a). Capacitación Finsa Material del Estudiante -Departamento de Desarrollo Profesional Finning Sudamérica.

Huerta Mendosa, Rosendo (2005). El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional.

ISO, International Organization for Standardization. (2014). Asset management – Management systems – Requirements. ISO 55001:2014. Suiza, 2014. 20 p.

SIS.Service Information System. Caterpillar

Web Finning. (en línea) <https://www.finning.com/es_CL.html>

Web Minera Candelaria Lundin Mining. (en línea) <<https://www.lundinmining.com>>

ANEXOS

Anexo A: Levantamiento de información tractor de cadena Bulldozer

A.1 Tractor Topador de cadenas Cat (Bulldozer)

Su funcionamiento consiste en el desplazamiento o empuje de materiales sueltos como tierra y rocas de gran envergadura, por medio de una hoja de empuje o cuchilla, permitiendo la nivelación o también la roturación del terreno ya que cuenta con un escarificador en la parte posterior, se adapta fácilmente a las condiciones del terreno permitiendo flexibilidad en el trabajo y gran resistencia. Son maquinas muy versátiles ideales para trabajos de construcción y minería.

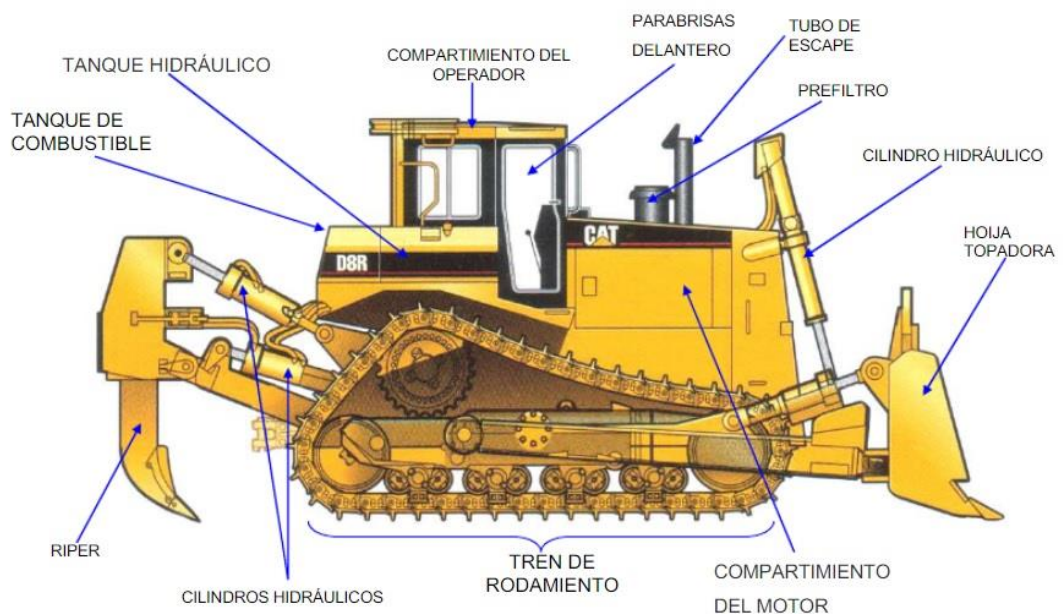


Figura A- 1:partes externas del tractor de cadena

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Principales partes de un tractor de cadena

- Bastidor principal o chasis
- Motor
- Transmisión
- Tren de rodaje o rodado

Bastidor principal

Es el soporte donde van montados todos los elementos de la máquina, al mismo tiempo que los protege. Esta constituido de acero de alta resistencia, especialmente diseñado para los enormes esfuerzos (torsiones e impactos), que ha soportar al empujar y escarificar.

Motor

Los motores son, generalmente diesel turboalimentados. Están montados en la parte delantera, consiguiéndose así un mayor componente vertical sobre las hojas de empuje y un mayor equilibrio al disponer de ripper o contrapesos, colocados en la parte posterior. El motor envía potencia desde el volante al convertidor, el motor tiene una capacidad de 770 hp de serie 3508 V8 ,el motor tiene cuatro subsistemas ,subsistema de enfriamiento ,lubricación ,admisión y escape de inyección y combustible.

Subsistema de Admisión y Escape.

Los componentes del sistema de admisión y de escape controlan la calidad y la cantidad de aire que está disponible para la combustión. Hay turbocompresores y múltiples de escape separados en cada lado del motor. Un posenfriador común se encuentra entre las culatas en el centro del motor. El múltiple de admisión es una serie de codos que conectan la cámara del posenfriador a las lumbreras de admisión (conductos) de las culatas. Hay un árbol de levas en cada lado del bloque. Los dos árboles de levas controlan el movimiento de los componentes del sistema de válvulas.

Los gases de escape pasan a la entrada del escape Rueda de la turbina. Los gases impulsan los alabes de la rueda de la turbina. La rueda de la turbina y la rueda del compresor giran a velocidades de hasta 90.000 rpm. El aire limpio de los filtros de aire pasa a la admisión de aire al girar la rueda del compresor. La acción de las hojas de la rueda del compresor comprime el aire de admisión y lo hace pasar a través del posenfriador para enfriar el aire que entra a la cámara de combustión. Esta compresión proporciona más potencia al motor porque permite mayor entrada de aire y el motor consume el combustible con mayor eficiencia.

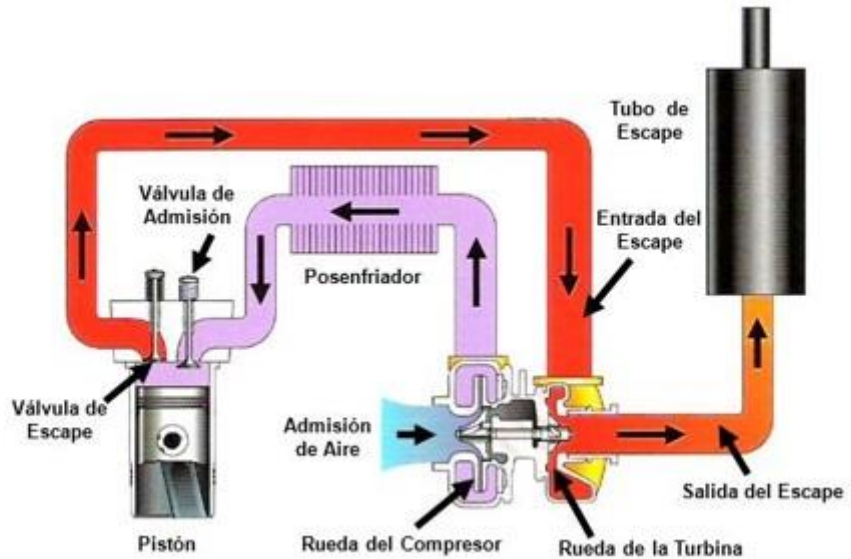


Figura A- 2: Subsistema de Admisión y Escape de gases en motores

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Subsistema de Lubricación de Aceite de Motor.

Se encarga de suministrar aceite para lubricar todas las partes del motor, este subsistema utiliza una bomba de aceite con tres engranajes. Los engranajes de la bomba son impulsados por el tren de engranajes delantero. La bomba de aceite del motor extrae el aceite del colector de aceite del motor a través de la campana de succión y el codo. La campana de succión tiene una rejilla para poder limpiar el aceite. La válvula de alivio está en la bomba de aceite del motor. La válvula de alivio de control la presión del aceite desde la bomba de aceite del motor. La bomba de aceite del motor empuja el aceite a través del enfriador de aceite del motor y a través de los filtros del aceite al conducto de aceite principal y al conducto de aceite del árbol de levas en el bloque de motor.

Subsistema de Enfriamiento.

Durante la operación todos los motores de combustión interna generan calor, la temperatura de la cámara de combustión en los motores Caterpillar pueden alcanzar los 1927°C, sin embargo, solo el 33% de esta energía pasa a través del cigüeñal en caballos de fuerza, el 30% sale por los gases de escape, el 7% va directamente a la atmósfera en forma de calor y el 30% restante sale a través del sistema de enfriamiento. La función del subsistema de enfriamiento es remover el calor del motor para mantenerlo en la temperatura correcta de operación menor o igual a 85 grados centígrados, esta función es vital para la operación de los motores de combustión interna.

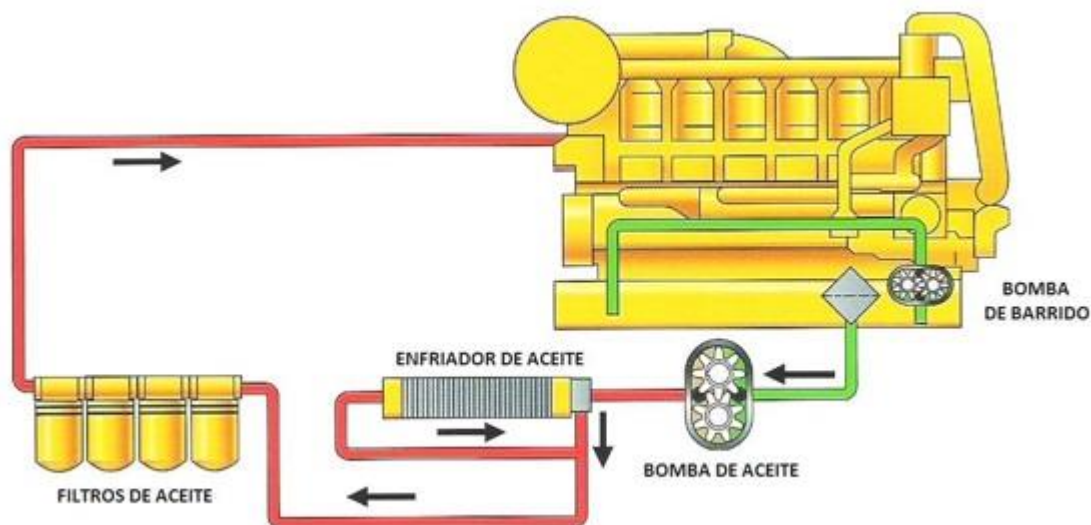


Figura A- 3: Funcionamiento subsistema de aceite y lubricante en motor Diesel Caterpillar

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Convertidor de par.

El Convertidor de par conecta el motor a la transmisión planetaria. Esta conexión es una conexión hidráulica y una conexión mecánica. La conexión hidráulica es a través de un convertidor de par. La conexión mecánica es a través de un juego de engranaje planetario.

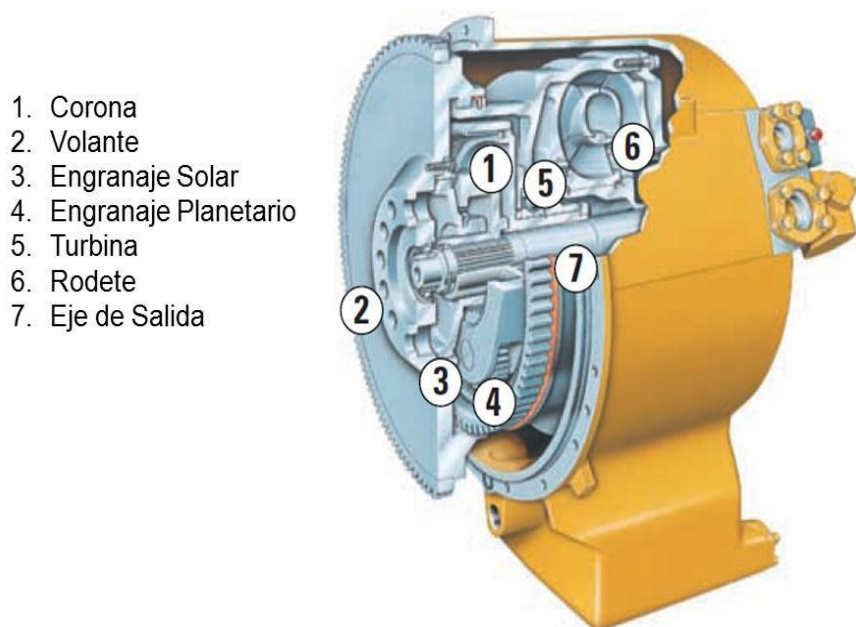


Figura A- 4:Partes del Convertidor par

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Transmisión.

La transmisión tiene cinco embragues activados hidráulicamente, los embragues dan tres velocidades de avance y los embragues dan también tres velocidades de retroceso. El control selecciona la velocidad y el sentido de marcha. Los cinco embragues de la transmisión son de tipo de disco, los embragues están en cajas separadas, cada embrague tiene discos y placas. Los dientes interiores de los discos se conectan con los dientes exteriores de la corona. Las muescas en el diámetro exterior de las placas se conectan con pasadores que hay en la caja del embrague. Los pasadores evitan que las placas giren. Los resortes están entre la caja del embrague y el pistón. Los resortes mantienen desconectados los embragues.

Los embragues se conectan cuando se envía aceite a la zona detrás del pistón. Cuando la presión del aceite en el área entre el pistón y la caja aumenta, el pistón se mueve a la izquierda. El pistón se mueve contra la fuerza del resorte. El pistón empuja junto los discos y las placas. El embrague está ahora conectado. Los discos evitan la rotación de la corona cuando se desconecta el embrague, la presión en el área detrás del pistón disminuye y la fuerza del resorte mueve el pistón a la derecha. Se separan ahora los discos y las placas. El embrague no está conectado. Se deben conectar un embrague de velocidad y un embrague de sentido de marcha para enviar potencia a través de la transmisión.

Mando final

Los mandos finales reciben potencia de los embragues de dirección y la potencia final se envía a las cadenas. Los mandos finales dan una reducción doble por medio del uso de engranajes planetarios. El semieje exterior envía la potencia desde los embragues de dirección al mando final

Embrague de direccion y frenos

Los embragues y frenos de dirección son módulos que transfieren potencia desde la corona a los mandos finales. Están compuestos por un sistema de embragues con un funcionamiento similar a los embragues de la transmisión

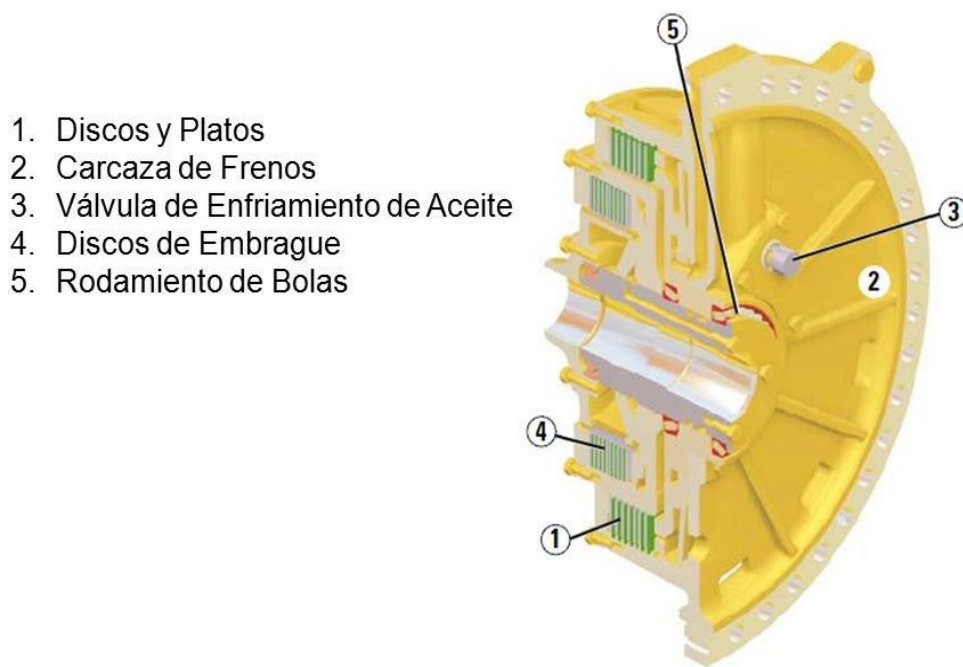


Figura A- 5: Partes de la dirección de freno del bulldozer

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Sistema Hidráulico.

El sistema hidráulico de los tractores está compuesto por el subsistema hidráulico del ventilador y el subsistema de los implementos.

El subsistema del ventilador de control de demanda ajusta la velocidad del ventilador para que iguale la demanda del sistema de enfriamiento del motor. El ventilador opera a una velocidad más lenta en un día frío. En ambientes de operación que no requieren capacidad máxima de enfriamiento hay más potencia del motor disponible para el trabajo. El módulo de control del motor (ECM) controla el sistema del ventilador de control de demanda. El sensor de temperatura del refrigerante del motor envía información al módulo de control del motor. El ECM controla la velocidad del ventilador alterando la corriente que va a la válvula de solenoide

El subsistema hidráulico del implemento controla la operación de la hoja topadora y el desgarrador. El sistema hidráulico es un sistema de centro cerrado con bombas hidráulicas de caudal fijo. Esto permite que haya mínima presión en el sistema cuando no están activadas las válvulas de control del implemento. Una bomba de engranajes de caudal fijo proporciona el flujo para la operación de la hoja topadora y el desgarrador.

Sistema Eléctrico.

El sistema eléctrico se encarga de suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del equipo, las funciones básicas del sistema eléctrico son suministrar la energía para el arranque del equipo desde las baterías hasta los motores de arranque, almacenar energía desde el alternador hasta las baterías y además comunicar los módulos de control electrónico (ECM) con los sensores y actuadores del sistema del tren de fuerza, el sistema hidráulico, los componentes principales son:

- ECM de Motor, Hidráulico y Transmisión
- VIDS (Vital Information Display System)
- Sensores y Switches
- Solenoides
- Cables y Arneses
- Baterías
- Motores de arranque

Tren de rodaje

El tren de rodaje es el conjunto de piezas de que se sirve el tractor para su desplazamiento y sustentación. Las partes que lo componen se muestran a continuación

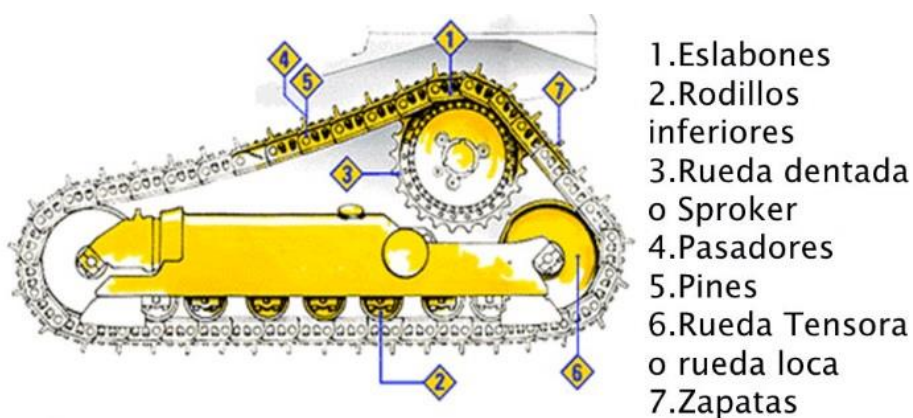


Figura A- 6: Partes externas del tractor de cadena

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Hoja topadora o de empuje

Es una hoja metálica instalada en la parte delantera del tractor, mediante la cual se aplica el esfuerzo de empuje sobre los materiales que se desean remover y transportar. Las hojas están sustentadas por dos brazos de empuje que se articulan exteriormente a las orugas, sobre el bastidor de cadena, mediante unos cojinetes de muñón, y están suspendidas de dos cilindros hidráulicos, generalmente fijados a la coraza delantera del bastidor de la máquina. El accionamiento simultáneo de estos cilindros permite bajar o subir a la hoja con relación al bastidor.

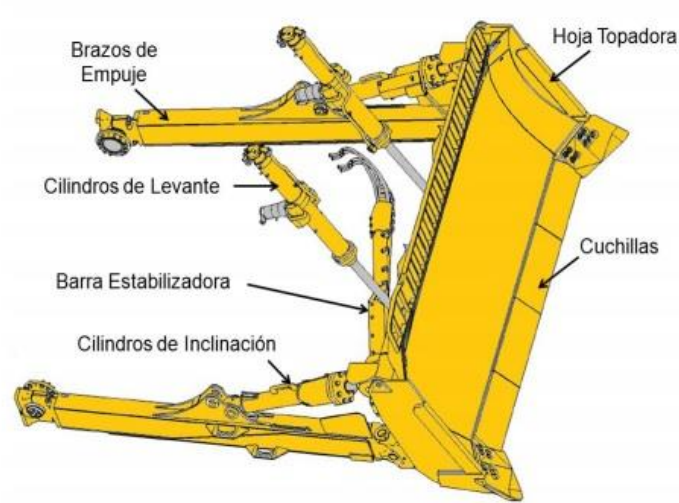


Figura A- 7: Partes de la hoja topadora del tractor de cadena

Fuente: SIS Caterpillar

Riper o Escarificador

Esta formado por un bastidor o estructura portavástagos, situado en la parte posterior del tractor, en el cual se fijan uno o varios vástagos. Mediante cilindros hidráulicos, los brazos se pueden descender clavándolos en la superficie o suelo y al ser arrastrados por el tractor produce profundos surcos, fragmentando materiales rocosos.

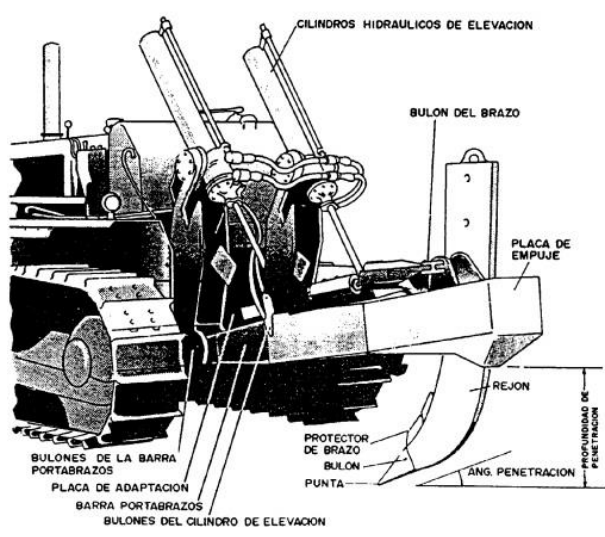


Figura A- 8: Partes externas del tractor de cadena

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Modelos de tractores de cadenas (bulldozer)

La empresa cuenta con tres modelos de bulldozer en Truck shop (área asignada al mantenimiento y nave de equipos). Los cuales se muestran a continuación.

MODELO	CARACTERÍSTICAS
D6T 	Modelo de motor : C9 ACERT™ Cat® Potencia al volante : 149 kW Emisiones: Tier 4 final Equivalente a Tier 3 de la EPA de EE.UU./Stage IIIA de la Unión Europea, Brasil MAR-1
D87 	Modelo de motor: C15 ACERT Cat Potencia neta del motor: 325 Hp a 1.900 rpm: ISO 9249/SAE J1349 Capacidad de la hoja: 10.3 m3 Peso en orden de trabajo estándar: 38,351 kg

D10T2 	Modelo de motor : C27 ACERT™ Cat® Potencia al volante: 447 kW Calibre: 137 mm Carrera: 152 mm
--	---

Tabla A- 1: Modelos de Tractores Topadores de cadenas Cat

Fuente: Finning company

Anexo B: Levantamiento de información Motoniveladora

B.1 Motoniveladora Caterpillar

Las motoniveladoras poseen una hoja, vertedera o cuchilla ajustable cóncava cuya posición es transversal a la máquina, su cara delantera de la hoja establece contacto con los materiales, estas realizan variedades de trabajos los cuales pueden ser de gran precisión como los niveles finales y acabado de terrenos o taludes ,mantenimiento de caminos y para el trabajo pesado por medio de un escarificador o ripper para cavar y obtener profundidad o zanjeo , este suele ir en la parte posterior de la máquina que es lo más común o adelante con las cuchillas.

La motoniveladora esta provista de dos bastidores el cesta instalado el tren de fuerza, el motor y el sistema hidráulico para controlar los implementos , además hay un sistema de transmisión, seis ruedas en total, cuatro atrás y dos adelante que son las direccionales, también cuenta con una tornamesa la cual esta montada horizontalmente en la barra de tiro y en esta se sostiene la hoja ,gracias a los cilindros de elevación y transversales se puede efectuar las posiciones necesarias para operación de la máquina.

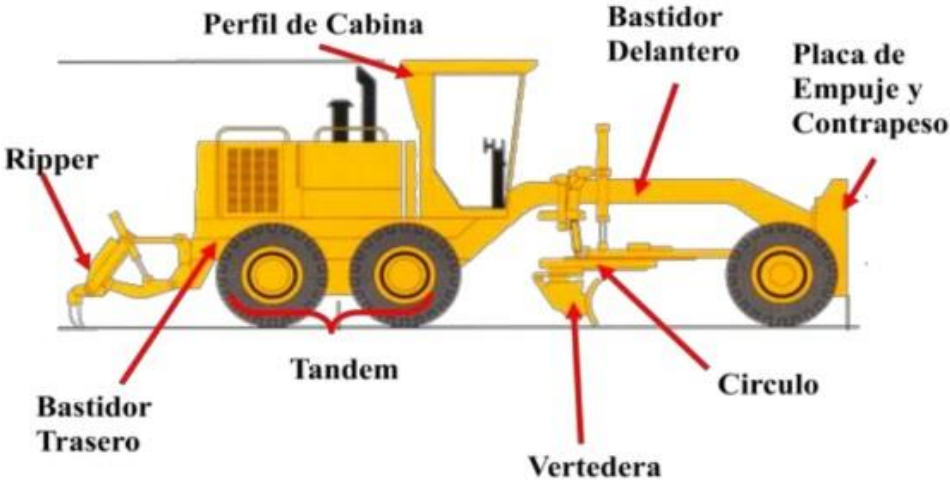


Figura B- 1:Partes externas del tractor de motoniveladora

Fuente: Manual Finsa de capacitación técnica Cat

Tren de fuerza

La transmisión es de contraeje y control electrónico (ECPC) control electrónico de presión del embrague. El ECM de la transmisión/chasis, controla la modulación de la presión del embrague en la transmisión, suministrando una corriente de salida variable a la válvula electromagnética proporcional apropiada. El ECM de la transmisión/chasis supervisa la velocidad de operación, los datos del torque de motor desde el ECM del motor, los datos de la velocidad de los sensores, de velocidad de la transmisión y la temperatura de la transmisión, para determinar el cambio de marcha apropiado. La transmisión del contraeje tiene 8 velocidades de avance y 6 velocidades en retroceso.

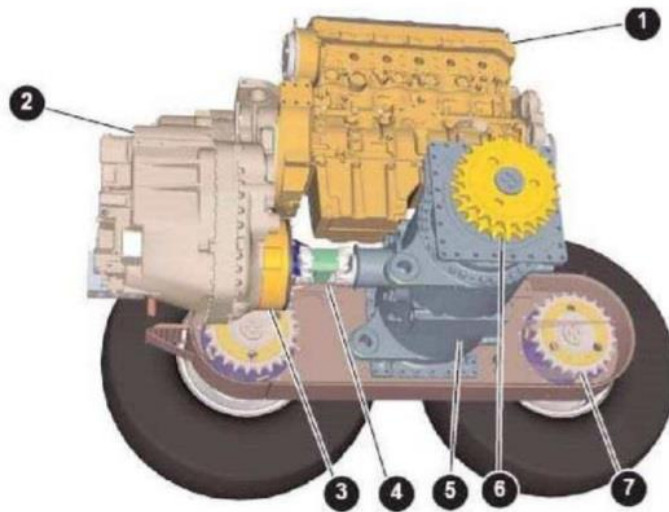


Figura B- 2:Partes del tren de fuerza de Motoniveladora

Fuente: SIS Caterpillar

La potencia atraviesa la máquina es como sigue:

- Motor (1)
- Transmisión del contraeje (2)
- Freno de estacionamiento (3)
- Eje impulsor (4)
- Impulsiones del diferencial y del mando final (5)
- Cadenas (no mostradas) Piñón (6)
- Estaciones de la rueda (7)

Sistema tándem de ruedas traseras

La oscilación del conjunto trasero de ruedas tándem permite reducir los movimientos verticales de la hoja de trabajo en terrenos irregulares. Los frenos de servicio se montan a las cajas en tándem cerca de la parte posterior del motor. Los frenos de servicio son aplicados por el aceite de los acumuladores y son refrescados por el aceite en la cubierta tándem.

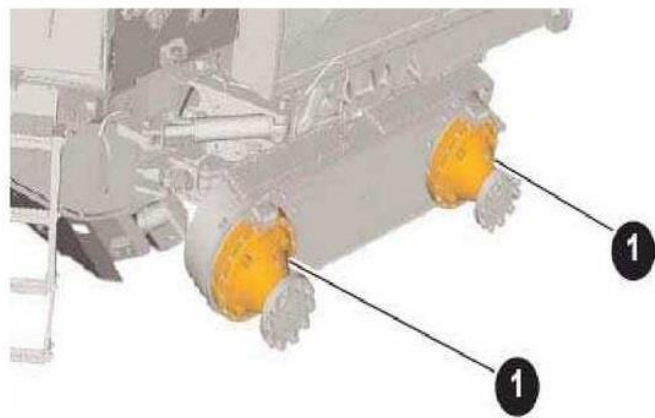


Figura B- 3: Cajas tamden (1)

Fuente: SIS Caterpillar

Barra de tiro /Tornamesa /Hoja

La barra de tiro es un elemento articulado que se proyecta de adelante hacia atrás, soportando la hoja. La tornamesa o circulo es dentada y calza por medio de engranes, esta montada horizontalmente en la barra de tiro.

La hoja o vertedera es una lámina cóncava cuya posición normal es transversa a la máquina.

Modelos de motoniveladoras

La empresa cuenta con dos modelos en Truck shop (área asignada al mantenimiento y nave de equipos). Los cuales se muestran a continuación.

MODELOS Y CARACTERÍSTICAS	
140M  Motoniveladoras de la Serie M Potencia base (1ª marcha): neta 136.0 kW Peso en orden de trabajo: equipado normalmente 18.991 kg Ancho de la hoja 3.7 m	16M3  Motoniveladoras de la Serie M Potencia base (1ª marcha): neta 216.0 kW Peso en orden de trabajo: equipado normalmente 32.411 kg Ancho de la hoja 4.9 m

Tabla B- 1: Modelos de Motoniveladoras Cat
Fuente: Finning company

DIAGRAMA PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA EMPRESA

