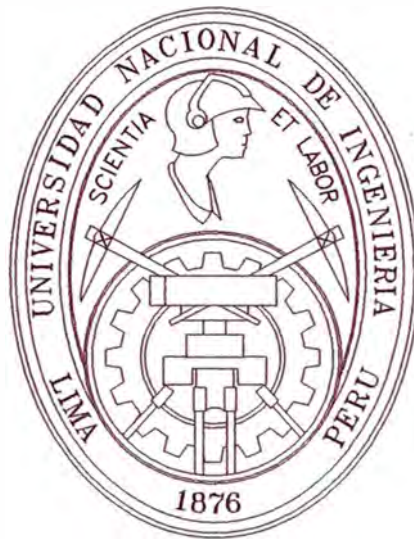


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PLUS
APLICADO A UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA 345CL
CON MOTOR DE 345HP**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRONICO**

CARLOS ALBERTO BULLON ROMERO

PROMOCION 2006-I

LIMA-PERU

2010

**MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PLUS APLICADO A UNA
EXCAVADORA HIDRAULICA 345CL CON MOTOR DE 345HP**

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION	3
1.1 Antecedentes	4
1.2 Objetivos	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Alcance	5
1.5 Limitaciones	6
CAPITULO II	
MARCO TEORICO	7
2.1 El mantenimiento	7
2.2 Evolución del mantenimiento	7
2.3 Mantenimiento Basado en Confiabilidad	10
2.3.1 Mantenimiento Basado en ConfiabilidadPlus	10
2.3.1.1 Diagnóstico	11
2.3.1.2 Control	12
2.3.1.3 Optimización	19

2.4 Indicadores de Mantenimiento	21
2.4.1 Tiempo Medio entre fallas	21
2.4.2 Tiempo medio entre reparaciones	21
2.4.3 Disponibilidad	21
2.4.4 Confiabilidad	23

CAPITULO III

OPERACIÓN MINERA EN LA UNIDAD LA VIRGEN	33
3.1 Minera San Simón – Unidad La Virgen	33
3.1.1 Visión, Misión y Valores	33
3.1.2 Organigrama	34
3.1.3 Gestión Ambiental, Salud y Seguridad	35
3.1.4 Relaciones Comunitarias	35
3.2 Operaciones Mina	36
3.2.1 Perforación	36
3.2.2 Voladura	37
3.2.3 Carguío	38
3.2.4 Acarreo	38
3.2.5 Servicios Auxiliares	38
3.3 Operaciones Planta.....	39
3.4 Mantenimiento en La Unidad Minera La Virgen	43

3.4.1 Mantenimiento Planta	44
3.4.2 Mantenimiento Mina	44
3.4.2.1. Mantenimiento Preventivo	46
3.4.2.2 Mantenimiento Correctivo Planificado	46
3.4.2.3 Mantenimiento Correctivo No Planificado	46
3.4.2.4 Mantenimiento Predictivo	47
 CAPITULO IV	
 LA EXCAVADORA 345CL	48
4.1 Sistema Hidráulico.....	48
4.1.1 Subsistema bomba principal	49
4.1.2 Subsistema piloto	50
4.1.3 Subsistema válvula de control principal.....	50
4.1.4 Subsistema de implementos.....	50
4.1.5 Subsistema de giro.....	50
4.1.6 Subsistema de avance.....	50
4.1.7 Subsistema de retorno	51
4.2 Sistema Motor.....	52
4.3 Sistema Eléctrico.....	53
4.4 Sistema de Control Electrónico	54

4.5 Estructura	55
4.6 Herramientas	55
4.7 Carrilería	55
4.8 Componentes Hidráulicos	56
4.8.1 Cilindros	56
4.8.2 Líneas hidráulicas	62
4.8.3 Filtros	68
4.8.4 Bombas	71
4.8.5 Válvulas de control de presión	86
4.8.6 Válvulas de control direccional o selectora	94
4.8.7 Válvulas de control de flujo	105

CAPITULO V

DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD

PLUS	
5.1 Planificación	108
5.1.1 Indicadores antes de iniciar el RCM PLUS	108
5.1.2 Capacitación en RCM PLUS	113
5.1.3 Planificación de los grupos de trabajo	114

5.1.4 EDT	114
5.2 Análisis de Mejorabilidad	115
5.2.1 Resultados de análisis de mejorabilidad	116
5.2.2 Conclusión de análisis de mejorabilidad	120
5.3 Análisis funcional	120
5.3.1 Diagrama de entrada de función salida.....	121
5.3.2 Análisis funcional de Mina	123
5.4 Desarrollo de los diagramas causa efecto.....	124
5.5 Desarrollo del análisis FMECA	127
CAPITULO VI	
COSTOS Y BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACION.....	128
6.1 Costos de Implementación.....	128
6.2 Beneficios Identificados	130
6.3 Otros beneficios.....	132
6.4 Resultados: Indicadores después del RCM PLUS.....	133
6.5 Observaciones.....	135
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	
APENDICE	

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por hacer realidad este sueño, a mi madre por su infinito amor y comprensión, a mi padre por su confianza y aliento, finalmente un agradecimiento especial a mi abuela Ana, en enorme gratitud por su apoyo y cariño. Gracias.

“El futuro pertenece a quien cree en la belleza de sus sueños.”

PROLOGO

El presente trabajo fue desarrollado con la finalidad de establecer una nueva estrategia de mantenimiento que redujera los costos y aproveche la tecnología de los nuevos equipos de maquinaria pesada integrada a la flota de carguío, equipos de 2300 Tn/h de rendimiento de carga y potencias de 1000 hp en la volante en cada motor, para lograr su mayor desempeño en operación, frente al actual forma de llevar mantenimiento de los equipos que hasta Enero de 2007 se tenían.

Por tanto se estableció un plan piloto para la flota de excavadoras 345CL, para después ser replicado a flota de palas con las consideraciones del caso, teniendo presente en todo momento el enfoque de ubicar fallas potenciales y evitar que estas se conviertan en fallas funcionales.

El informe consta de 6 capítulos los cuales tienen el siguiente contenido.

En el **capítulo uno**, se establecen los antecedentes, objetivos, justificación, alcance y limitaciones del método señalado en este informe.

En el **capítulo dos**, se hace referencia al marco teórico de este informe, en el se presentan las definiciones, conceptos y expresiones matemáticas que será usadas para el sustento del presente informe.

En el **capítulo tres**, se hace la descripción de la operación minera en la Unidad La Virgen, en el se presenta la organización, las operaciones de mina, planta y la actual forma de llevar el mantenimiento.

En el **capítulo cuatro**, se desarrolla la descripción del equipo de maquinaria pesada excavadora Caterpillar 345CL, en el se detalla los sistemas, subsistemas enfocándose sobre los componentes que conforman el sistema hidráulico de implementos.

En el **capítulo quinto**, se lleva a cabo la planificación, análisis de mejorabilidad que determina el sistema al cual debemos aplicar RCM plus, el diagrama de entrada función salida de los procesos macro, y el análisis FMECA (Análisis de Modo de Falla, Efectos y Criticidad) que establece la hoja de decisión que es el entregable de este trabajo y cuya aplicación tiene impacto económico, organizacional, cultural sobre la forma de cómo llevar el mantenimiento de equipos mina.

En el **capítulo sexto**, se presentan los resultados obtenidos y beneficios alcanzados producto de la implementación del RCM plus de manera piloto sobre el sistema hidráulico de implementos.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La minería considerada como una de las principales actividades económicas en el país, se encuentra en constante desafío en busca de eficiencia y competitividad, actuando con responsabilidad social, minimizando el impacto ambiental teniendo bajo control sus procesos. Por esta razón que mejora sus procesos de manera continua, usando nuevas técnicas dentro de cada proceso.

Dentro de los procesos de soporte desempeña un papel fundamental el mantenimiento sobre los equipos llevado a cabo por el personal, para que las operaciones se desarrollen satisfactoriamente. El enfoque de llevar a cabo el mantenimiento ha evolucionado debido a la mayor cantidad de activos físicos, el costo que representa, y la complejidad que tienen para ser mantenidos. Como consecuencia de ello se vienen desarrollando nuevas metodologías y/o filosofías para evaluar y aplicar, con las finalidades de resolver las necesidades de una compañía. Metodologías y filosofías como Inspección basada en riesgo, Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), Análisis Causa Raíz (RCA), Mantenimiento Total Productivo (TPM), Aseguramiento para toma de decisiones de Costo- Riesgo, Mantenimiento basado en Sistemas Expertos, entre otros tienen como fin optimizar el mantenimiento.

El plan de mantenimiento desarrollado en este informe usa el mantenimiento basado en confiabilidad conocido mundialmente como RCM por sus siglas en ingles (Reliability Centered Maintenance).

1.1 Antecedentes

Con la finalidad de aumentar la disponibilidad y confiabilidad principalmente de la flota de carguío, y estando próximo la compañía a adquirir una flota de 10 camiones 777F de capacidad de tolva 120 ton y 2 Palas Terex O&K de 9 m³ de capacidad de cucharón y motores 1000 HP, la gerencia de operaciones decide llevar a cabo un plan piloto aplicando la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) sobre las excavadoras 345 CL de 2.7 m³ de capacidad de cucharón, para verificar la utilidad del método y el probable beneficio del mismo en la Unidad Minera La Virgen. Hasta principios de 2005 solo existían planes de mantenimiento preventivo basado en los manuales del fabricante, y a mediados del 2005 se implementó el área de monitoreo de condiciones encargado de llevar el seguimiento y control de la evolución de desgastes de partes en base al mantenimiento predictivo que inicialmente solo consistía en análisis de aceite. En enero del 2007 se inició el desarrollo del análisis RCM para equipos mina, determinando la aplicación del método de manera piloto al sistema de Implementos de la excavadora N° 6 modelo 345 CL Caterpillar con motor de 345 HP y 2.7 m³ de capacidad.

1.2 Objetivos:

El objetivo de este informe es establecer el mantenimiento basado en confiabilidad aplicado al sistema hidráulico de implementos de la excavadora 345CL para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de equipos logrando la

reducción de costos de operación a través del análisis del equipo que causa mayor impacto económico.

1.3 Justificación:

Frente al crecimiento que se iniciaba en Minera San Simón a mediados del 2006 y a la posterior adquisición en el 2007 de nuevos equipos de mayor capacidad de carguío, fue necesario establecer nuevas tácticas que mejoren la confiabilidad y disponibilidad en equipos, siendo esta la preocupación de las áreas de operaciones y mantenimiento, por ello la jefatura de mantenimiento solicito expresamente la necesidad de establecer un plan RCM como filosofía de mantenimiento con el fin de lograr mejorar y/o optimizar los procesos que contribuyen el mantenimiento de los equipos, y como consecuencia aumentar la producción de la mina, asimismo disminuir los altos costos de mantenimiento eliminando paradas imprevistas, a través del análisis de los eventos no deseados de tal manera que se puede establecer tareas de mantenimiento para eliminar sistemáticamente las fallas redundantes y cíclicas, y adelantarse a cualquier otro factor que pudiera afectar el éxito en la producción de mina, mediante tácticas que establece el RCM.

1.4 Alcance

El alcance de este informe es el establecimiento de la Hoja de decisiones RCM para el sistema hidráulico de implementos de la Excavadora 345 CL con motor de 345 HP y 2.7 m³, que deberá ser adicionada al programa de mantenimiento actual que lleva la Unidad Minera La Virgen, más adelante se demostrara que hasta Junio de 2007, era el sistema hidráulico de implementos el cual tenía mayor impacto sobre toda la producción y sirvió como objeto de análisis a través de un plan piloto de mantenimiento.

1.5 Limitaciones:

El presente informe no abarca los demás sistemas hidráulicos de la excavadora 345 CL, tales como sistema hidráulico de giro, o de avance, así mismo tampoco abarca al sistema motor, ni al sistema eléctrico, ni otro sistema diferente al mencionado en el alcance ya que se trata de analizar el mayor impacto económico y ver los resultados sobre toda la flota de carguío en la Unidad Minera La Virgen.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 El Mantenimiento

Existen muchas definiciones sobre mantenimiento escrita por diversos autores, pero en la actualidad todos señalan que el principal objetivo es la atención de los equipos antes que fallen, mediante el uso de herramientas de gestión que ayudan a cuantificar el rendimiento, tipificar eventos y tecnologías que ayudan a monitorear el comportamiento del equipo.

En conclusión el objetivo fundamental del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las maquinas a lo largo del tiempo, minimizando sus costos.

2.2 Evolución del Mantenimiento

Considerado el mantenimiento como un proceso de soporte, al igual que otros procesos evoluciono en base a las nuevas metodologías implementadas. Estas metodologías sobre el mantenimiento son diversas y en ellas se incluyen actividades dirigidas a conservar las características de diseño de los equipos, evitar las paradas imprevistas, prolongar su ciclo de vida, y mantener su óptima operación. Las generaciones evolutivas se distinguen en relación a los diferentes objetivos que se observan en las áreas productivas o de manufactura a través del tiempo.

En la primera generación que surge en la segunda guerra mundial, la prioridad principal, no era precisamente prevenir la falla de los equipos, sino más bien repararlos en el menor tiempo posible, careciendo por completo de algún tipo de programa de mantenimiento.

En la segunda generación desarrollada a principios de los años 50, la complejidad de las maquinas obligo a realizar rutinas de mantenimiento surgiendo la prevención de fallas PM (mantenimiento preventivo), PdM (mantenimiento predictivo) y MM (mantenimiento modificativo).

Entre mediados y finales de los setenta nace la tercera generación. El proceso de cambio en la industria y la nueva aparición de crecientes tecnologías forzaron al desarrollo de nuevas técnicas de mantenimiento, convirtiendo al RCM (Reliability Centered Maintenance) en una importante estrategia para reducir costos, aumentar productividad, y disminuir los tiempos muertos.

La cuarta generación nace en los 90s con EUREKA WORD CLASS, Management Maintenance (1990) y el RCM Plus procurando la máxima competitividad.

La quinta generación del mantenimiento nace a principios del siglo XXI, enfocado hacia la organización e innovación tecnológica industrial (terro tecnología)

Finalmente la sexta generación del mantenimiento que nace en busca de la mejora continua tiene sus inicios en el año 2003.

Tabla II.1 Evolución del mantenimiento

PRIMERA GENERACION (Corrección momentánea o definitiva)	Correctivo (CM)
SEGUNDA GENERACION (Planificado)	Preventivo (PM) Predictivo (PdM) Modificativo (MM)
TERCERA GENERACION (Integración Producción - Mantenimiento (Cliente-Ofertante)	Mantenimiento Total Productivo (TPM) Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) Mantenimiento Combinado (TPRCM) Mantenimiento Proactivo (PrM) Mantenimiento Reactivo (RM) Mantenimiento orientado a resultados (ROM)
CUARTA GENERACION (Relaciona la empresa con el mundo exterior)	Mantenimiento centrado en Habilidades y Competencias (CCM) Mantenimiento centrado en el Cliente Demandante y el Servicio (DSM) Word Class - Mantenimiento Proactivo (WCM) (PaM) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (CMD)
QUINTA GENERACION (Mantenimiento basado en todas su fases de e, t, integral logístico)	Mantenimiento Terotecnológico - Tecnología - Integral logístico (TM)
SEXTA GENERACION	Mantenimiento orientado a la mejora continua

Frente a todos estos avances en el mantenimiento surge el desafío de decidir cuáles de estas técnicas conviene o no implementar a la compañía, por ella la necesidad muchas veces de implementarlo de manera piloto para ver los impactos en una escala modelo, para posteriormente difundirlo y tomarlos como una nueva filosofía.

2.3 Mantenimiento basado en Confiabilidad

El mantenimiento basado en confiabilidad mundialmente conocido por sus siglas en inglés como RCM (Reliability Centered Maintenance) es una metodología que permite identificar estrategias efectivas de mantenimiento que permitan garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción. Se desarrolla a través de un equipo multidisciplinario de trabajo que se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, teniendo como entregable final la Hoja de Decisiones RCM en él se establece las actividades más efectivas del mantenimiento, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente, a las operaciones.

2.3.1 Mantenimiento basado en Confiabilidad Plus

También denotado como RCM Plus está basado originalmente sobre el RCM, de la misma manera logra como producto final la Hoja de decisiones RCM en el cual se determinan las actividades de operaciones y mantenimiento más adecuadas (técnicamente y económicamente factibles) para asegurar que los sistemas, subsistemas y componentes cumplan con las funciones deseadas en su contexto operacional, satisfaciendo las necesidades de sus usuarios. La diferencia radica en el análisis de sistemas más no en equipos, que provocan mayor impacto económico sobre una línea de producción. Está basado en una estricta justificación costo/riesgo de manera CUANTITATIVA. Es estrictamente racionalizado y se usa solo para sistemas críticos. La implementación del RCM Plus consta de las siguientes fases:

2.3.1.1 Diagnóstico

Durante la fase de diagnóstico se realizan las siguientes actividades:

Análisis Funcional

El propósito es proveer un claro entendimiento de las funciones de una planta y operación. Entender las funciones desde el punto de vista de negocio. En él se desarrolla análisis Entrada Funciones Salida de plantas y sistemas. Ayuda a realizar los análisis funcionales de plantas y de sistemas, y a través de él se establece los valores de operación normal de la planta o proceso.

Evaluación de Mejorabilidad

Uno de principales problemas de un proyecto de mejoramiento en la confiabilidad es saber identificar las áreas sobre las cuales se tendría un mayor impacto. La evaluación de mejorabilidad consiste en evaluar el riesgo asociado a cada sistema, a través de él se establece las jerarquías por posibilidad de mejoramiento considerando la frecuencia de falla, su impacto en la producción, costos de reparación, seguridad y su impacto ambiental.

En el análisis cuantitativo, se considera el impacto económico en la producción, y el comportamiento de los sistemas que conforman la mina. A través del diagrama de Pareto se identifica y analiza el sistema con más pérdidas.

2.3.1.2 Control

Habiendo determinado el orden de implementación según la capacidad de mejoramiento de los sistemas, se procede a responder las 7 preguntas del RCM.

1. ¿Cuáles son las funciones y sus estándares de operación en cada sistema tomando en cuenta el contexto operacional?
2. ¿Respecto a sus funciones como falla cada equipo?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
5. ¿Cual es el impacto real de cada falla?
6. ¿Cómo se puede prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no es posible prevenir una falla funcional?

Logrando entonces generar una serie de recomendaciones que buscan disminuir las consecuencias generadas por los modos de fallas y sus causas a través del Análisis de Modo de Fallas, Efectos y Criticidad conocido por sus siglas en inglés como FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) usando la lógica del Árbol de Decisión, para evaluar las consecuencias de fallas operacionales, de seguridad y ambiente, distinguir las fallas ocultas, de tal manera que se puedan establecer estrategias proactivas recomendando tareas para prevenir las fallas de los componentes o equipos y establecer tareas que ayuden que prolonguen la vida de los mismos.

Asimismo a través del árbol de decisión establecer las tareas por omisión si fuera el caso sino hay tareas proactivas factibles que valgan la pena recomendar.

Análisis de Modo de Fallas, Efectos y Criticidad (FMECA)

El análisis FMECA es un método que nos permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto, la criticidad, y la frecuencia con que se presentan. Para ello es necesario primer establecer los diagramas causa efecto, luego el propio análisis FMECA y finalmente el establecimiento de actividades y tareas. De esta forma se clasifica las fallas por orden de importancia, lográndose establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando un mayor impacto económico, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo.

- Funcionabilidad

La función es el propósito o misión de un activo físico en un contexto operacional específico para ello se tienen en cuenta los estándares de funcionamiento. La función es muy importante dentro del proceso del FMECA, esta deber ser identificada de manera concisa, exacta y fácil de entender.

- Estándares de funcionamiento

Los estándares de funcionamiento establecen las relaciones entre el funcionamiento deseado, es decir el desempeño del activo frente a la capacidad propia del activo.

- Contexto Operacional

Es el contexto dentro del cual se desarrolla el análisis de las funciones del RCM. Deberá ser enmarcado en las actividades que

comprenden estrictamente el sistema. Será necesario constar los límites hasta el nivel en que son analizados sus componentes. Se debe tomar en cuenta los factores que influyen sobre el mantenimiento de ellos tales como:

- Factores climáticos (cambios excesivos o constantes)
- Normas y reglamentaciones especiales (específicas y legales)
- Tipos de proceso (continuo 24 hrs/ por lotes, etc)
- Redundancia (o formas alternativas de producción)
- Estándares de calidad (dan específicas condiciones a la operación)
- Estándares medio ambientales (impacto en el medio ambiente)
- Riesgos a la Seguridad (razones de cuidados)
- Límites de uso (elementos mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos, electrónicos).

- **Fallas Funcionales**

Se define falla funcional como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

El estudio y la aplicación del RCM implican conocer al detalle las circunstancias y eventos que llevaron a que el equipo entrara en falla.

Fallas internacionales OREDA: críticas, degradantes, incipientes y desconocidas.

Tabla II.2 Categorización de frecuencias

CATEGORIA	FRECUENCIA
1. FRECUENTE	Ocurre repetidamente en el ciclo de la vida del equipo.
2. PROBABLE	Ocurre varias veces en el ciclo de vida del equipo.
3. OCASIONAL	Probable de ocurrir algunas veces en el ciclo de vida del equipo.
4. REMOTA	Improbable pero posible de ocurrir en el ciclo de vida en el equipo.
5. EXTREMADAMENTE REMOTA	Improbable pero posible de ocurrir en el ciclo de vida del equipo.

Las fallas funcionales pueden ser totales o parciales para ello se debe tener en cuenta los límites inferiores y superiores, recordando en todo momento que un activo pierde su funcionalidad según lo establecido por el usuario. Según FMECA existen 2 tipos de fallas funcionales:

Fallas Crónicas: Son una desviación dentro de un rango aceptable de operación normal. Estos son eventos relativamente frecuentes. La eliminación de las fallas crónicas llevaras las operaciones regulares al punto máximo de una operación normal aceptable y elevara el nivel promedio esperado del desempeño.

Fallas Esporádicas: Son una desviación por fuera de un rango aceptable de operación normal. Generalmente la eliminación de una falla esporádica solamente llevara las cosas de nuevo a un rango aceptable. Estos son eventos por lo general poco frecuentes y no relacionados entre sí.

Modo de Falla

Es cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (sistema o proceso). El analizar modo de falla e identificarlos antes de que ocurriesen o antes que vuelvan a ocurrir a cualquier activo físico permite evaluar las consecuencias, y decidir si debiera hacerse algo para participar, prever, detectar, corregir o hasta rediseñar. Por tanto el proceso de selección de tareas, se lleva acabo al nivel de modo de falla. Se categorizan en:

- Falla Completa
- Falla Parcial
- Falla Intermitente
- Falla con el tiempo
- Sobre desempeño de la función

Efectos de Falla

Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla. Un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, un efecto de falla responde a la pregunta que ocurre, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta qué importancia tiene. Para describir un efecto de falla se debe enunciar lo siguiente:

- La evidencia que se ha producido una falla
- Amenazas a la seguridad o medio ambiente
- Incidencias en la producción o a las operaciones
- Daños físicos causados por la falla

Causas de la Falla

Podemos agruparlas en 2 tipos según OREDA.

Causas de las Fallas Inmediatas: Se relaciona con la naturaleza de la falla.

Tablas II.3 Causas de fallas inmediatas

MECANICAS	MATERIAL	INSTRUMENTOS
Fuga Vibración Desalineamiento Deformación Suelto Pegado	Cavitación Corrosión Erosión Fractura Fatiga Sobrecalentamiento Quemado	Control Señal/Indeterminado/alarma Incorrecto Software Falla redundante (común)
ELECTRICAS	INFLUENCIA EXTERNA	
Costo circuito Circuito abierto Sin/bajo Energía/voltaje Falla de energía/voltaje Falla tierra/aislamiento	Bloqueado/taponado Contaminación	
	MISCELANEOS	
	Misceláneos Desconocido	

Causas de las Fallas Básicas: Se determinan a través de un análisis causa raíz.

Tabla II.4 Causas de las Fallas Básicas

DISEÑO	FABRICACION/INSTALACION
Capacidad inadecuada Material inadecuado Diseño inadecuado	Error de fabricación Error de instalación
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO	ADMINISTRACION
Error de operación Error de mantenimiento Servicio fuera de diseño Desgaste o rotura esperada	Error de documentación Error administrativo
	MISCELANEO
	Misceláneo Desconocido

Consecuencia de la Falla: Criticidad

Es la evaluación del impacto sobre la organización o sobre los componentes. Es meta obligada del RCM procurar atenuar o eliminar las consecuencias de fallas. Probablemente son más relevantes las consecuencias que las características técnicas de las fallas en sí mismas. También se podría decir que las consecuencias consisten en la descripción de lo que ocurre en cada modo de falla. Se categorizan en 4 tipos:

Consecuencias de fallas ocultas: Normalmente no inciden directamente pero pueden llegar a generar paradas serias y catastróficas.

Consecuencias ambientales y seguridad física (humana):

Normas, leyes, contaminación, violación, seguridad, muertes, accidentes fatales.

Consecuencias Operacionales: Pueden afectar calidad, seguridad, cantidad, atención al cliente, reproceso, desperdicios, etc. además de la reparación.

Consecuencias no operacionales: Solo implican el costo de la reparación.

La evaluación finalmente califica la severidad, ocurrencia, impacto ambiental y detectabilidad determinándose el nivel de riesgo.

Riesgo = Severidad + Ocurrencia + Detección

Los valores de riesgo (RPN) priorizan la ejecución de las tareas que pueden ser de 2 tipos:

Tareas planificadas como preventivas o predictivas.

1. Reacondicionamiento cíclico (Preventivo)
2. Sustitución Cíclica (Preventivo)
3. Mantenimiento a condición (Predictivo)

Tareas no planificadas o modificativas

1. Búsqueda de la falla (FMECA)
2. Rediseño o modificación (Modificativo)
3. Mantenimiento no planificado (Correctivo)

2.3.1.3 Optimización : Metodología de Optimización Costo Riesgo

Después del Control es necesario establecer cuando es el momento oportuno para adoptar la acción y la fase de Optimización basándose en relación Costo – Riesgo “O.C.R.” Las herramientas de O.C.R. nos ayudan a modelar y analizar los distintos escenarios que se puedan presentar, con el fin de poder determinar el momento oportuno para realizar una actividad sin importar si es mucha o poca la data recopilada. Finalmente es necesario optimizar:

Estrategias de Operación y Mantenimiento

Intervalos de reemplazo y mantenimiento preventivo.

Intervalos y alarmas de inspección y monitoreo.

Estrategias de Parada de Planta u Operación.

Recursos

Niveles de Repuestos.

Análisis del ciclo de Vida

Opciones de reparar/ reemplazar

Opciones de extensión de vida.

Evaluación de cambios y diseños.



Figura II.1 Optimización Costo/Riesgo

El RCM convencional es una técnica de control que no genera intervalos óptimos para la ejecución de los planes de mantenimiento.

El RCM Plus introduce herramientas avanzadas como las del proyecto MACRO EUREKA 1488 (Herramienta APT), para optimizar las recomendaciones por el grupo de trabajo. Pero estas se aplican según el contexto operacional en análisis.

2.4 Indicadores de Mantenimiento

Dentro de los indicadores de Mantenimiento se tomaran los reconocidos como de clase mundial y que a continuación se mencionan:

2.4.1 Tiempo medio entre Fallas

Indica el tiempo medio entre fallas, cuanto mayor es este parámetro mayor es la confiabilidad del componente o equipo. También es denominado por sus siglas en ingles (Mean Time Between Failures),

MTBF= Tiempo Total de Operación /Nº total de Fallas

MTBF= (Nº horas laborales – Nº horas fuera de servicio por averías y revisiones-tiempo de espera)/Nº total de Fallas

2.4.2 Tiempo medio de reparaciones

Nos proporciona una estimación del tiempo que tarda en repararse un equipo, al lograr un menor tiempo medio de reparaciones menos se reduce los tiempos muertos del equipo. También es denominado Mean Time to Repair (MTTR),

MTTR = Tiempo total invertido en reparaciones / Nº total de reparaciones

2.4.3 Disponibilidad

Es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La disponibilidad también se define como la

razón entre el tiempo en que el dispositivo opera correctamente y funciona bien entre el tiempo en que el elemento o equipo puede operar.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo en que el dispositivo opera correctamente y funciona bien}}{\text{Tiempo en que el elemento o máquina puede operar}}$$

También se define como la sumatoria del tiempo útil entre la sumatoria del tiempo útil y tiempo muerto. En este caso no se toman en cuenta los tiempos por demoras logísticas, suministros, retrasos entre otros. A este tipo de disponibilidad se le conoce como disponibilidad genérica.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\Sigma UT}{\Sigma UT + \Sigma DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

De la misma forma también se puede establecer una equivalencia entre el $MTBF = MUT$ y el $MTTR = MDT$ considerando un tiempo de análisis bastante grande y que el $MTBF$ es mucho mayor al $MTTR$ (aproximadamente mayor o igual a 8 veces) y a su vez este tiempo de análisis es mayor o igual 10 veces el $MTTR$ y el $MLDT$ (Mean Logistic Dow Time) tiende a cero en el tiempo se puede suponer como valido:

$$\frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Por lo tanto se define la disponibilidad intrínseca como:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{MTBS}{MTBS + MTTR}$$

Siendo la disponibilidad mecánica:

$$DMC = \frac{(\text{Horas Nominales} - (\text{MP} + \text{RP} + \text{RI}))}{\text{Horas Nominales}}$$

Donde:

Horas nominales: 12 x N° Días/mes

MP: Horas en mantención programada

RP: Horas en reparación programada

RI: Horas en reparaciones imprevistas

2.4.4 Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurran las fallas en el tiempo. La probabilidad de que un sistema desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales ha sido diseñada, durante un periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación, ambientales y de entorno adecuado se define como confiabilidad. La definición de confiabilidad muestra que existen 4 características que definen su estructura:

2.4.4.1 Probabilidad

Es el resultado de dividir el número de veces d los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos).

2.4.4.2 Desempeño Satisfactorio

A través de él se establecen los criterios específicos para describir lo que es considerado como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las

funciones que el sistema debe lograr, esto implica conocer cuando el equipo falla y ya no se desempeña satisfactoriamente.

2.4.4.3 Periodo

Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida. El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida.

2.4.4.4 Condiciones de operación:

Son las condiciones en las que se espera que el equipo funcione y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad.

2.4.5 Curva de confiabilidad

La forma grafica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática. La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión:

$P_f = \left(\frac{n}{N}\right)$ donde n es (son) el(los) evento(s) de falla (en confiabilidad) a estudiar; $N =$ es el número total de eventos posibles; P_f es la probabilidad de falla.

$P_f = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N}\right)$ con P_f definida como la probabilidad de que ocurra el evento n ante una serie grande o infinita N de eventos posibles.

$R_a = 1 - P_f$ con R_a como la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia en un tiempo a , siendo P_f la probabilidad de falla en ese mismo tiempo a .

La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de transcurrido un tiempo t en un periodo T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, maquina o sistema después de transcurrido un determinado tiempo t , la otra forma de interpretarla es cuando se están analizando varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente) similares que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aun funcionan después de un tiempo t . Donde P_f también es conocida como $F(t)$, siendo $F(t)$ la función densidad acumulativa.

$$R(t) = 1 - F(t) \dots (2.1)$$

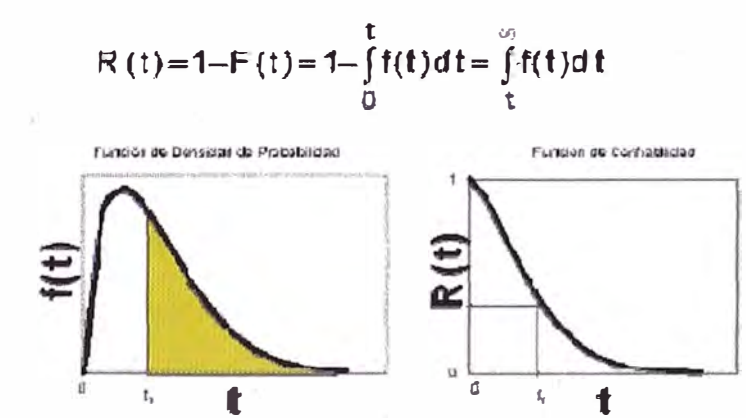


Figura II.2 Función Confiabilidad

Siendo $f(t)$ la función densidad de probabilidad y representa la probabilidad de t de caer en algún punto del rango t_1 a t_2 . Es decir

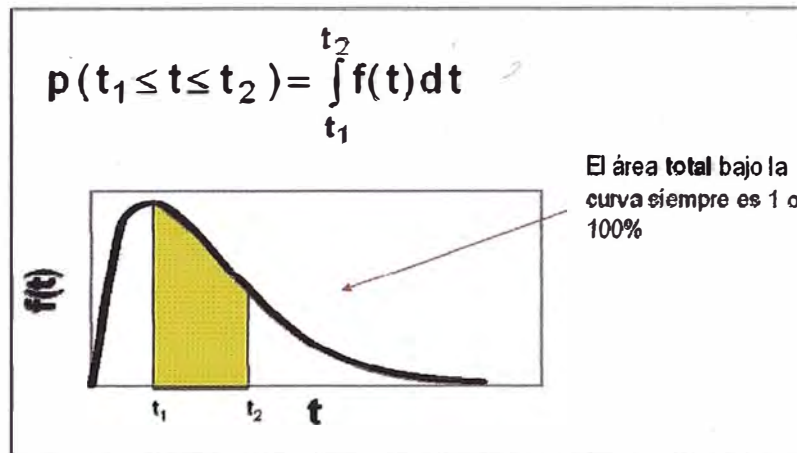


Figura II.3 Función Densidad de Probabilidad

En el análisis de los datos de vida útil se deben estimar los valores de la probabilidad de éxito o confiabilidad, la vida media, los parámetros de una distribución o cualquier otro parámetro aplicable, que son los instrumentos que permiten desarrollar estrategias y acciones claras de mantenimiento. Existen distribuciones de probabilidad que se expresan como una función matemática de la variable aleatoria. La función tiene además de la variable aleatoria, constantes que le dan comportamientos específicos a las distribuciones. A través de los parámetros de una distribución podemos inferir sobre la forma, escala y localización.

2.4.5.1 Tasa de falla $\lambda(t)$

La tasa de falla expresa la cantidad de averías o reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo, en el que se estudia un elemento.

La tasa de falla $\lambda(t)$ donde se conoce la distribución de probabilidad de t es el cociente de fallas probables $f(t)$ entre el numero de sobrevivientes al tiempo t denotado por $F(t)$ o $Pdf(t)$.

$$\lambda(t) = \text{PDF} / R(t)$$

2.4.5.2 La Curva de la Bañera o Curva de Davies

Dado que la tasa de fallos varia espeto al tiempo su representación viene reflejado por 3 etapas diferenciadas.

- Fallas iniciales(Tasa decrece)
- Fallas normales (Tasa constante)
- Fallas de desgaste (Tasa aumenta)

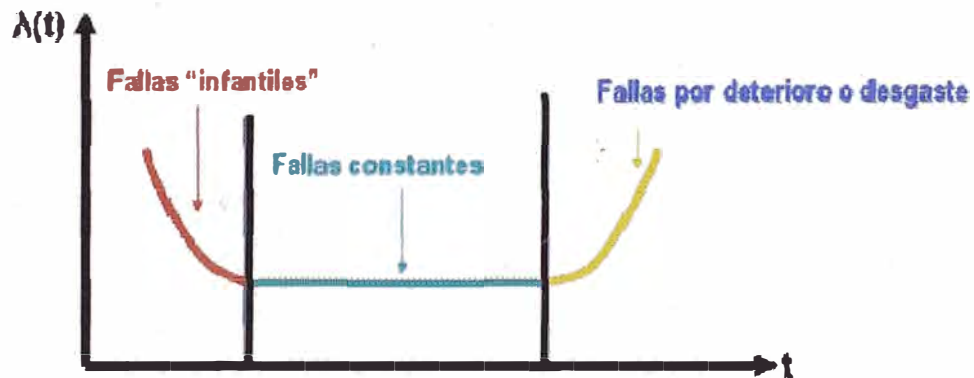


Figura II.4 La curva de la bañera

En la práctica no solo ocurre un solo modelo de falla sino 6 diferentes y esto es lo que obtuvo la tercera generación de mantenimiento producto de su investigación:

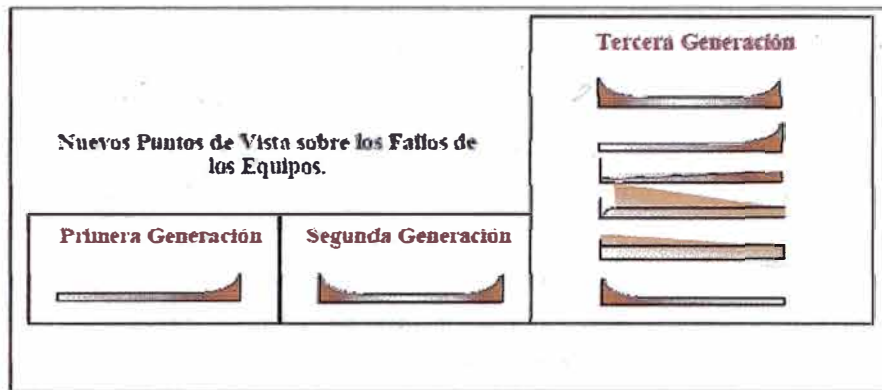


Figura II.5 Fallos de los Equipos

2.4.5.1 Distribución de Weibull

Una de las ventajas de la distribución de Weibull frente a otras distribuciones es que es muy manejable y se acomoda a las 3 zonas (infancia, vida útil, y envejecimiento o desgaste) de la curva de la bañera o de Davies. La distribución de Weibull posee en su forma general 3 para metros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permite obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones; estos parámetros son:

- **Gamma(σ):** es el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- **Eta (η):** Parámetro de escala o característica de vida útil su valor es determinante para fijar la vida útil del componente o sistema.
- **Beta (β):** Parámetro de forma, refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

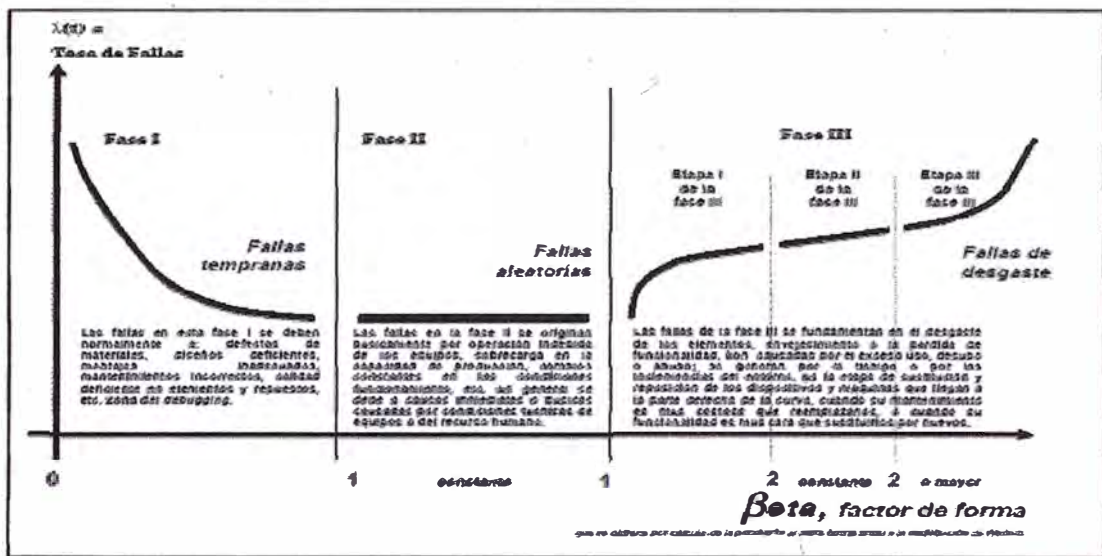


Figura II.6 Factor de forma

Tabla II.5 Valores de beta

Valor (β)	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución Exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de Falla creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de Falla creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de Falla creciente se aproxima a la distribución Normal; simétrica

2.4.5.1.1 Tasa de Fallas de Weibull

La distribución estadística de Weibull es aplicable al estudio de la confiabilidad en problemas relativos a la fatiga y vida de componentes y materiales. Se caracteriza por considerar la tasa de fallas variable y es de la forma:

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Donde:

t : duración de un artículo

η : parametro de escala o factor eta

β : parámetro de perfil o factor beta

Donde β determina la forma de la función de distribución y de la tasa de fallas.

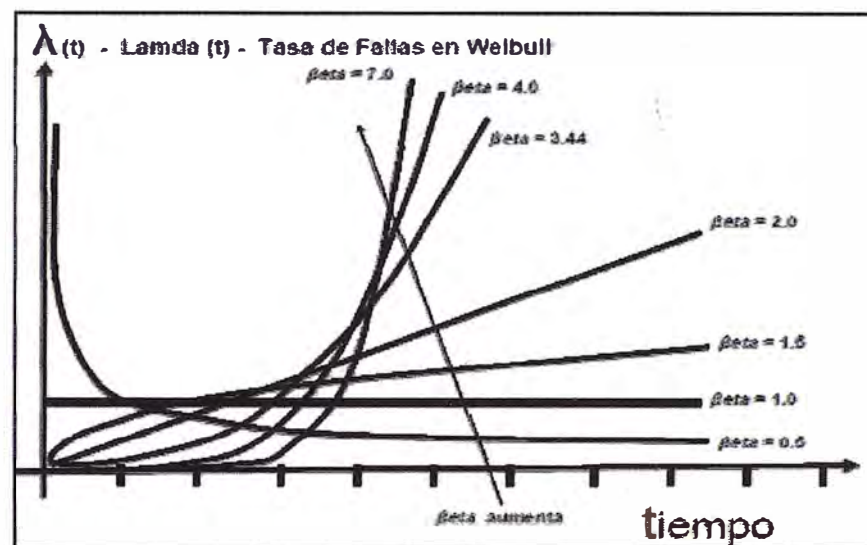


Figura 11.7 Curvas de Weibull

2.4.5.1.2 Función densidad de probabilidad de falla

Donde el comportamiento de una falla instantánea obedece a la siguiente fórmula.

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

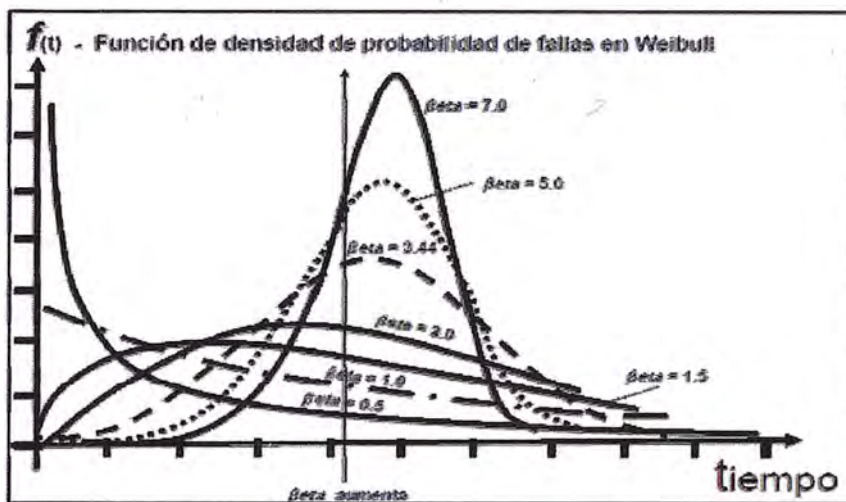


Figura II.8 Função de densidade de probabilidade – Weibull

2.4.5.1.2 Função Acumulativas de falhas

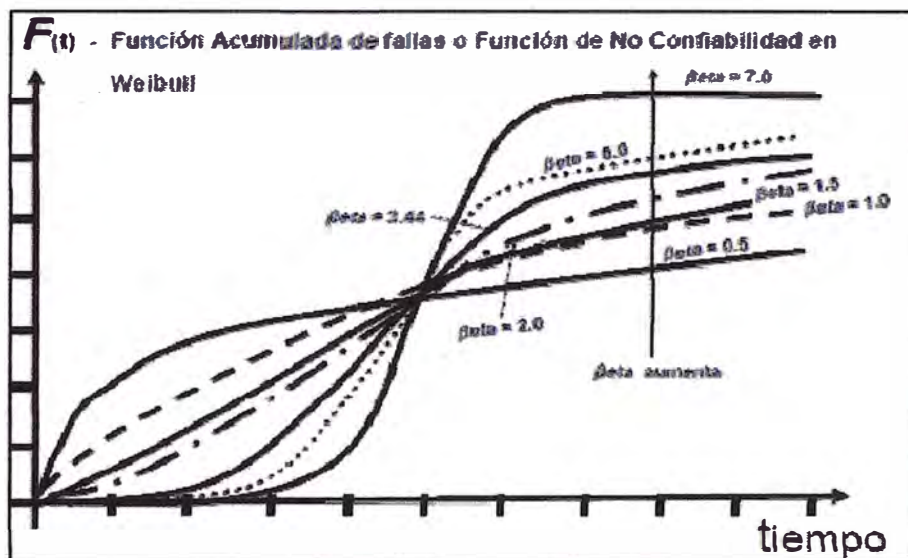


Figura II.9 Função Acumulada de falhas – Weibull

2.4.5.1.3 Função de confiabilidade

La función confiabilidad $R(t)$ es una función decreciente de t :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Debido a su flexibilidad, hay pocas tasas de falla observadas que no pueden modelarse adecuadamente mediante la Distribución Weibull.

También se cumple que:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp\left[-\int \lambda(t) dt\right] = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$$

Para nuestro caso usaremos la siguiente fórmula para el cálculo de confiabilidad:

$$R = e^{(-24/MTBF)}$$

Donde:

t: es el período de 24 horas considerado para la flota de equipos.

η: parámetro de escala o factor eta es igual a $1/\lambda$ y considerando una tasa de fallas constante $\beta=1$, por lo tanto $\lambda = 1/MTBF$

CAPITULO III

OPERACIÓN MINERA EN LA UNIDAD LA VIRGEN

En este capítulo describiremos brevemente las operaciones mineras en la Unidad La Virgen en el año 2006, de una compañía minera aurífera.

3.1 Minera San Simón- Unidad la Virgen

La Virgen es una mina a tajo abierto, ubicada en la sierra norte del país, en el distrito de Cachicadán, Provincia de Santiago de Chuco, en el departamento de La Libertad a 140 Km de la ciudad de Trujillo, esta compañía minera fue establecida en el año 2000.

3.1.1 Misión, Visión y Valores

Misión

Mantenerse en el tiempo como una organización dotada con las mejores alternativas técnicas, que considera al ser humano como el eje principal para un crecimiento auto sostenido y que trabaja para lograr el beneficio pleno de nuestros clientes, accionistas y trabajadores.

Visión

Ser una empresa líder en la industria minera aurífera, posicionada en el Mercado Internacional como una de las empresas con los más altos estándares de Calidad, Responsabilidad Social, Seguridad, Protección del Medio Ambiente y Productividad.

Valores

Los valores establecidos por la compañía eran:

- Respeto
- Honestidad
- Lealtad
- Responsabilidad
- Veracidad
- Humildad

3.1.2 Organigrama de Mina

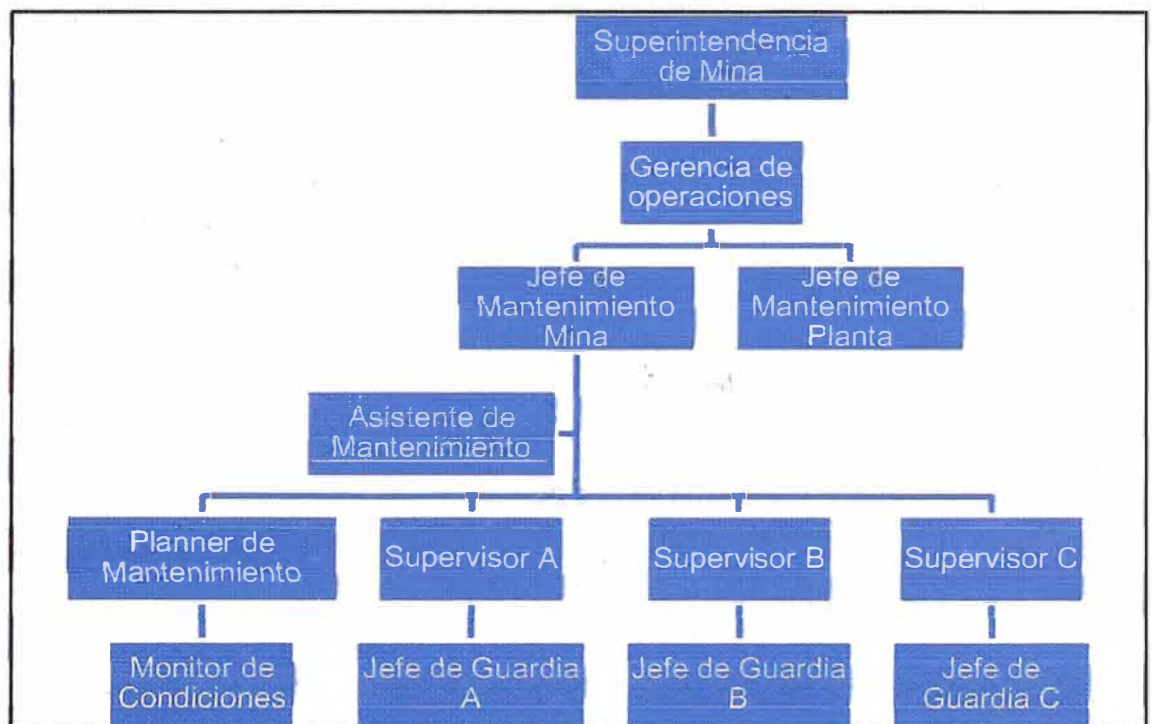


Figura III.1 Organigrama de Mina

3.1.3 Gestión Ambiental, Salud y Seguridad

La gestión ambiental, salud, y seguridad en conformidad a la legislación peruana vigente, para mejorar la protección ambiental y/o reducir los impactos sobre el medioambiente a través del control de los procesos y actividades que las puedan generar del eran enmarcados bajo los siguientes objetivos:

- Promover una educación y prácticas para lograr un desarrollo sustentable y sostenible.
- Formar personas íntegras, con conciencia cívica, críticas y reflexivas, capaces de reconocerse como parte del mundo natural y de relacionarse armónicamente con él.
- Evitar y corregir los hábitos de consumo negativos relacionados con el Medio Ambiente y la salud.

3.1.4 Relaciones Comunitarias

El fortalecimiento de las relaciones comunitarias eran logrados a través de los siguientes objetivos

- Revalorar el rol de las instituciones y fomentar el espíritu emprendedor de los actores locales.
- Contribuir a promover, entre mujeres y varones de comunidades aledañas a nuestro centro de operaciones, el conocimiento respecto de sus derechos.
- Fomentar el acceso de la población a las instancias de toma de decisión de su comunidad y alentar su participación en el quehacer social y cultural de su colectividad.
- Reducir el aislamiento y estrechar la comunicación entre los colectivos haciendo uso de nuevas tecnologías.

3.2 Operaciones Mina

3.2.1 Proceso de Extracción

La mina La Virgen está diseñada como una mina a tajo abierto construida a formación escalonada con bancos de 12 m de altura. Para obtener el mineral se utilizan perforadoras que realizan excavaciones de 12.5 m de perforación donde se coloca anfo (mezcla de petróleo y nitrato de amonio) para realizar el proceso de voladura controlada. El material removido es recogido por 4 excavadoras y transportado por una flota de camiones volvo con capacidad de transportar hasta 20ton métricas hacia el PAD, diariamente se mueve más de 300 ton métricas entre mineral y desmonte.

3.2.2 Perforación

Para esta actividad se utilizaran perforadoras DM45E, rotativas, con brocas tricónicas de 7 7/8" de diámetro y una longitud de 8.90 metros de perforación (vertical e inclinada). La altura de bancos será de 8 metros. La malla empleada dependerá de la dureza de la roca, densidad del material y densidad del explosivo. La malla estimada será de: 4.30 m. x 5.00 m.

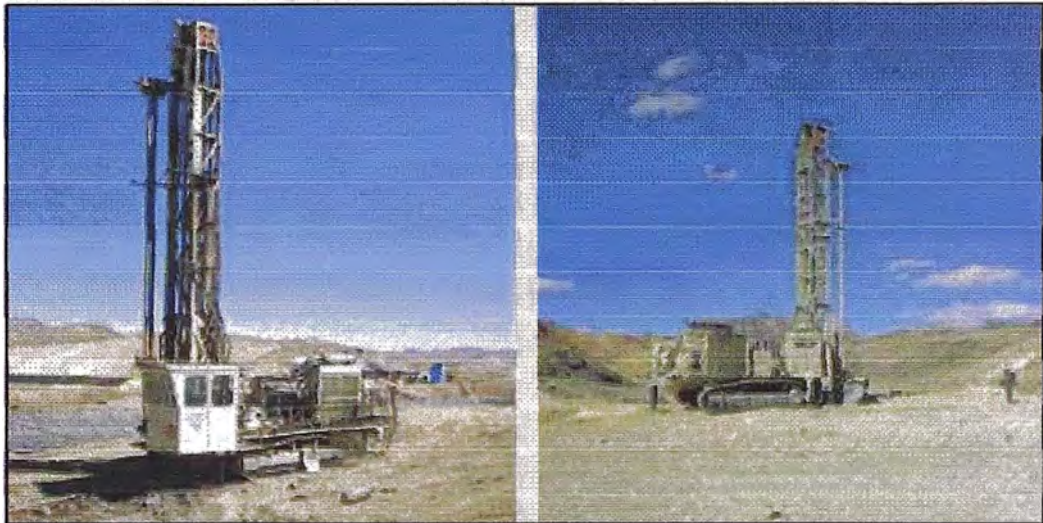


Figura III.2 Perforación

3.2.3 Voladura

Su objetivo principal es fragmentar el material, el cual será dispuesto para la lixiviación y recuperación en los pads. Este proceso comprende.

3.2.3.1 Iniciación: Se utiliza boosters de 1 libra con líneas descendentes, no eléctricas, con tiempos en milisegundos. Para el amarre troncal se emplea cordón detonante, 5G.

3.2.3.2 Carguío de Taladros: Se realizará mediante un “Camión fábrica” que realiza las mezclas de anfo y heavy anfo, según las consideraciones del material a fragmentar y el porcentaje de contenido de agua.

3.2.3.3 Voladura: Se contará con el servicio de empresas especializadas, para el servicio integral de voladura, el cual proveerá de

explosivos e insumos para la misma; además de asistencia técnica para cada proyecto de disparo.

3.2.4 Carguío.- Se realizará mediante el empleo de equipo pesado, tales como: excavadoras y cargadores frontales.

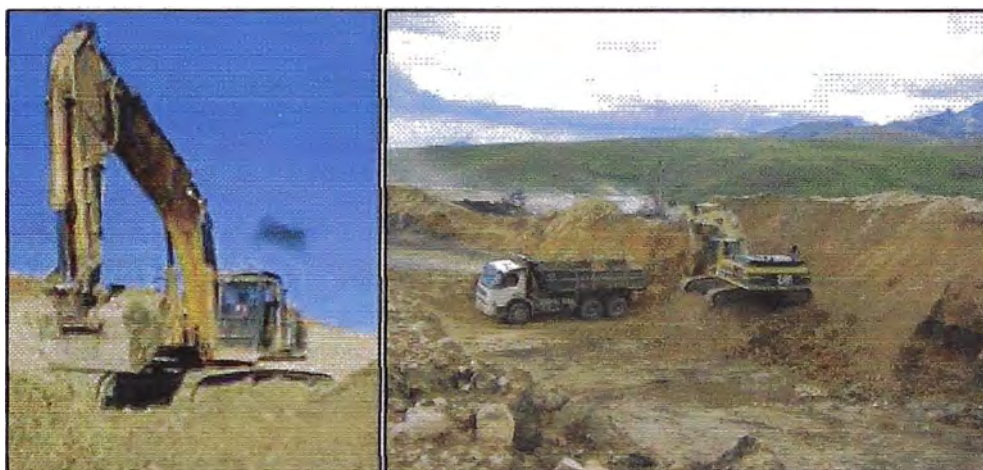


Figura III.3 Excavadora en carguío

3.2.5 Acarreo.- Se utilizarán volquetes de 15 m³ de para transportar el mineral de los tajos a los pads de lixiviación, donde será depositado para el proceso de lixiviación. En una primera etapa, contaremos con el servicio de terceros.

3.2.6 Servicios Auxiliares.- A cargo de equipos de apoyo en las diferentes actividades unitarias:

3.2.6.1 En las zonas de carguío: Acumulación de material para alimentar a los equipos de carguío, limpieza de frentes y limpieza de plataformas

3.2.6.2 En las zonas de acceso: Limpieza de vías, construcción de bermas, construcción de accesos y regado de vías.

3.2.6.3 En las zonas de perforación: Nivelación y limpieza de plataformas.

3.2.6.4 En las zonas de descarga: Empuje de material y nivelación de pisos.

3.3 Operaciones Planta

El área de tratamiento metalúrgico comprende básicamente:

El área del pad de lixiviación

La planta de recuperación Merrill Crowe

Instalaciones conexas como pozas de solución rica (pregnant), pobre (barren) y poza de mayores eventos.

Otros: Laboratorio, almacenes de cianuro y cal y otros insumos.

Se ha previsto así mismo, la implementación de la fundición y refinación.

3.3.1 Pad de lixiviación:

El sistema de lixiviación en pilas del Proyecto La Virgen; será utilizando pads impermeabilizados, de tipo expansión. Lo que significa que su construcción se implementa a medida que se deposita el mineral.

Los pads de lixiviación serán trabajados por el sistema de riego por goteo el ciclo de lixiviación será de 75 días y una altura de 1/2 capa de 8 m.

El sistema de revestimiento del pad de lixiviación consistirá de la instalación de una geomembrana texturada por un lado (SST) de HDPE de 2 mm. de espesor.

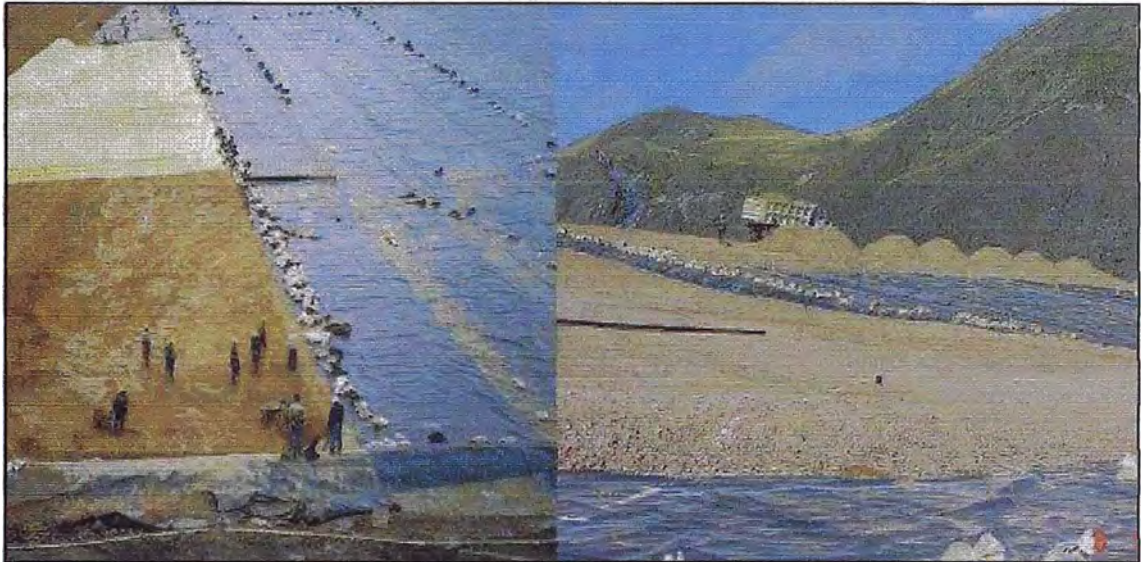


Figura III.4 Pad de Lixiviación

Esta operación de lixiviación será controlada a través de los ratios de riego, eficiencia de las mangueras de riego, taludes, retiro de los taludes y control horizontal de pisos de la descarga de mineral. Asimismo, la solución será controlada cada 12 horas, para nivelar las concentraciones de cianuro y cal.



Figura III.5 Riego por aspersión

3.3.2 La planta Merrill Crowe

Su diseño es convencional y consta de un sistema de bombeo para alimentar a la solución cargada, tanque de preparación con diatomita, filtros clarificadores para retener los sólidos suspendidos, una torre de vacío para eliminar el oxígeno, un cono emulsificador de zinc para la precipitación de los metales preciosos, una bomba para derivar los precipitados, filtros prensa para retener el precipitado y bombas para retornar la solución pobre al pad.

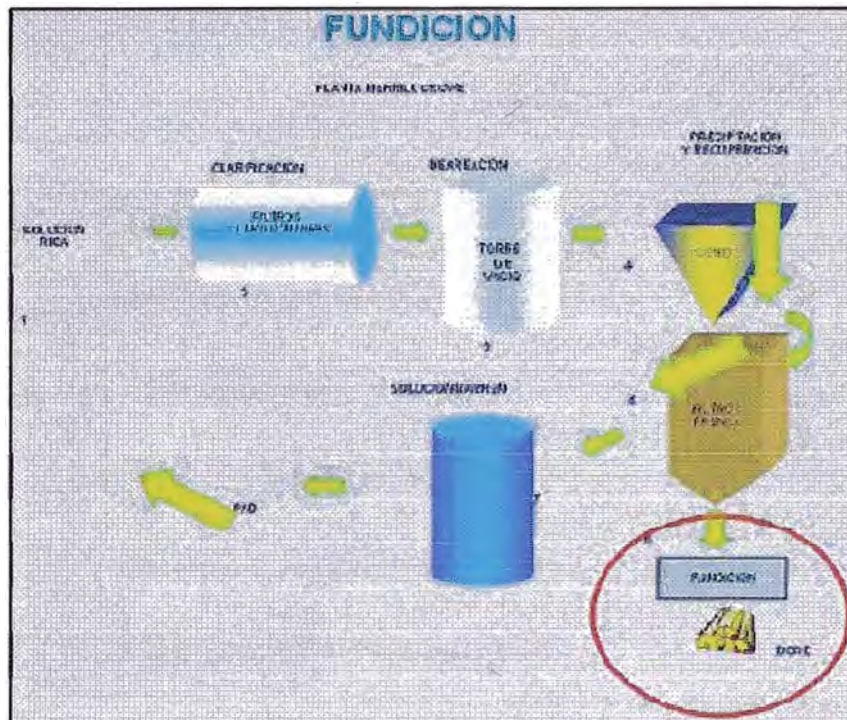


Figura III.6 Proceso de Fundición



Figura III.7 Poza de Solución Barren

Poza de Solución Barren, se observa las dos líneas que transportan solución lixivante hacia el PAD.



Figura III.8 Pozas Barren y Pregnant (izquierda y derecha respectivamente).

Fundición

Una vez completado el proceso anterior, periódicamente se extrae de los filtros prensa el precipitado que luego es secado. Una vez seco se mezcla con fundentes y se carga en hornos donde es fundido y moldeado. Obteniéndose así las barras de oro y plata que son empacados para su traslado.

3.4 El mantenimiento en La Unidad Minera La Virgen

El mantenimiento estaba dividido en 2 grupos grandes grupos para su mejor control.

3.4.1 Mantenimiento Planta

Encargado de velar el normal funcionamiento y mantenimiento de equipos dentro de la planta de procesos, tales como bombas, filtros, hornos, sistema de baja, media y alta tensión.

3.4.2 Mantenimiento Mina

Encargado de velar el normal funcionamiento y mantenimiento de equipos dentro de mina, tales como Excavadoras, Retroexcavadoras, Cargador Frontal, Tractor de Orugas, Camiones y Equipos Auxiliares.

Tabla III.1 Equipos de Minería

FLOTA DE EQUIPOS MINA		
CODIGO	MARCA	TIPO DE EQUIPO
16H-01	CAT	MOTONIVELADORA
160H-03	CAT	MOTONIVELADORA
160H-04	CAT	MOTONIVELADORA
345CL-04	CAT	EXCAVADORA
345CL-06	CAT	EXCAVADORA
345CL-08	CAT	EXCAVADORA
345CL-09	CAT	EXCAVADORA
950F-03	CAT	CARGADOR
966G-01	CAT	CARGADOR
966G-02	CAT	CARGADOR
966G-03	CAT	CARGADOR
416D-01	CAT	RETROEXCAVADORA
428B-01	CAT	RETROEXCAVADORA
DM45-01	IR	PERFORADORA
DM45-02	IR	PERFORADORA
CS533C-01	CAT	RODILLO
CS533E-03	CAT	RODILLO
CS533E-04	CAT	RODILLO
D6M-02	CAT	TRACTOR DE ORUGAS
D6R-04	CAT	TRACTOR DE ORUGAS
D8T-07	CAT	TRACTOR DE ORUGAS
D8T-08	CAT	TRACTOR DE ORUGAS

Tabla III.2 Flota de Camiones

FLOTA DE CAMIONES		
CODIGO	MARCA	TIPO DE EQUIPO
FM-101	VOLVO	CISTERNA
FM-116	VOLVO	VOLQUETE
FM-117	VOLVO	VOLQUETE
FM-118	VOLVO	VOLQUETE
FM-119	VOLVO	VOLQUETE
FM-120	VOLVO	VOLQUETE
FM-121	VOLVO	VOLQUETE
FM-122	VOLVO	VOLQUETE
FM-124	VOLVO	VOLQUETE
FM-125	VOLVO	VOLQUETE
FM-126	VOLVO	VOLQUETE
FM-127	VOLVO	VOLQUETE
FM-128	VOLVO	VOLQUETE
FM-129	VOLVO	VOLQUETE
FM-130	VOLVO	VOLQUETE
FM-131	VOLVO	VOLQUETE
FM-132	VOLVO	VOLQUETE
FM-133	VOLVO	VOLQUETE
FM-134	VOLVO	VOLQUETE
FM-135	VOLVO	VOLQUETE
FM-136	VOLVO	VOLQUETE
FM 143	VOLVO	VOLQUETE
FM 144	VOLVO	VOLQUETE
FM 145	VOLVO	VOLQUETE
FM 146	VOLVO	VOLQUETE
FM 147	VOLVO	VOLQUETE
FM 148	VOLVO	VOLQUETE
FM 149	VOLVO	VOLQUETE
FM 150	VOLVO	VOLQUETE
FM 151	VOLVO	VOLQUETE
FM 152	VOLVO	VOLQUETE
FM 153	VOLVO	VOLQUETE
FM 154	VOLVO	VOLQUETE

Los programas de mantenimiento que se llevaban a cabo para los equipos de minería eran:

3.4.2.1 Mantenimiento Preventivo:

Consistía en todos los mantenimientos preventivos que recomienda fábrica bajo las condiciones operativas de la mina y establecidas por el planner de mantenimiento. Estos mantenimientos están estrictamente basados en la cantidad de horas de operación de la máquina, y para nuestra mina en descripción se contaba de manera general con el siguiente cuadro:

Tabla III.3 Mantenimiento Preventivo

PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
PM0	Programas de mantenimiento de 125 Hrs
PM1	Programas de mantenimiento de 250 Hrs
PM2	Programas de mantenimiento de 500 Hrs
PM3	Programas de mantenimiento de 1000 Hrs
PM4	Programas de mantenimiento de 2000 Hrs

3.4.2.2 Mantenimiento Correctivo Planificado

Agrupa todas las tareas correctivas planificadas, estas tareas eran programadas para su ejecución junto con los mantenimientos preventivos o en su defecto coordinado con el área de operaciones. Era necesario establecer los requerimientos al área de logística, mediante backlogs y ejecutar las tareas mediante órdenes de trabajo.

3.4.2.3 Mantenimiento Correctivo No Planificado

Eran todas las tareas correctivas no planificadas que se llevaban a cabo por alguna falla funcional y que era necesario corregir de manera inmediata para recobrar la operatividad del equipo. También se ejecutaban mediante órdenes de trabajo, en campo o en taller.

3.4.2.4 Mantenimiento Predictivo:

Era el mantenimiento cuyas tareas consistían en monitorear los desgastes y anomalías en cuanto a los cambios que sufrieran la curva p-f, el mantenimiento predictivo en mina únicamente está basado en análisis de aceites, extracción de data electrónica, historial de eventos registrados en el ECM, como también inspecciones continuas, que formaban parte del historial del equipo.

Tabla III.4 Análisis de Aceite

REPORTE DE RESULTADOS DE ANALISIS DE ACEITES					
EQUIPO	COMPONENTE	TIPO DE MUESTRA	FALLA PRESENTADA	ACCION A TOMAR	RESPONSABLES
245-4	Hidráulico Hierro 87, Cobre 20 Muestras tomadas con 2260hrs	Aceite	Hierro y cobre elevados	EVALUAR URGENTE SISTEMA HIDRAULICO , y tomar nuevas muestras de aceites y filtros	Franco Altez
	MFR's MFR: Silicio 17, Hierro 185 MFR: Hierro 134 Muestras tomadas con 1200hrs	Aceite	Hierro elevado	Tomar temperatura de operación y revisar comportamiento	Franco Altez
	MFD Silicio 83, Hierro 160 Muestras tomadas con 577hrs	Aceite	Silicio y Hierro demasiado elevado	Se evaluará fugas sistema y en su caso, DESARMAR LOS MANDOS FINALES Y REALIZAR LIMPIEZA TOTAL Y VERIFICAR ESTADO DE PIEZAS	Franco Altez
	MFI Hierro 791, silicio 978 Muestras tomadas con 577hrs	Aceite	Silicio y Hierro demasiado elevado		
	Motor Silicio 38, Hierro 42 y Cobre 136 Muestras tomadas con 577hrs	Aceite	Posible quemamiento de motor nuevo.	tomar nueva muestra para determinar tendencias	Franco Altez

CAPITULO IV

LA EXCAVADORA 345CL

La excavadora 345CL, es una maquina hidrostática diseñada para cumplir con las operaciones de carguío de movimiento de tierra, dentro de la pequeña y mediana minería.



Figura IV.1 Excavadora 345CL

A continuación señalaremos de manera muy general los grupos que conforman la funcionabilidad de esta máquina:

4.1 Sistema Hidráulico:

Es el sistema formado por el subsistema hidráulico principal, el subsistema hidráulico piloto, el subsistema hidráulico de implementos, subsistema hidráulico

de avance, subsistema hidráulico de giro y el subsistema hidráulico de retorno. A continuación se señala algunas características importantes:

Tabla IV.1 Especificaciones Técnicas 345CL

Especificaciones Técnicas		
Sistema principal - Flujo Máximo (Total)	720L/min	190gal/min
Presión máxima	35000Kpa	5080psi
Presión máxima (Avance)	35000Kpa	5080psi
Presión máxima (Giro)	31400 Kpa	4550 psi
Sistema Piloto- Flujo máximo	43L/min	11gal/min
Sistema Piloto- Presión máxima	4110 Kpa	596psi
Diámetro del cilindro - pluma	160mm	6.3 in
Carrera del cilindro – pluma	1577mm	62 in
Diámetro del cilindro - brazo	190mm	7.5 in
Carrera del cilindro – brazo	1778mm	70 in

4.1.1 Subsistema Bomba principal

- Bomba hidráulica principal
- Control de la bomba

4.1.2 Subsistema Piloto

- Sistema Hidráulico Piloto
- Bomba de engranajes
- Filtro hidráulico piloto
- Válvula de alivio piloto
- Acumulador piloto
- Válvula solenoide (activación hidráulica)
- Válvula piloto (joystick)
- Válvula reductora proporcional

4.1.3 Subsistema válvula de control principal

- Válvula de control principal
- Sistema de control de flujo negativo
- Válvula de alivio principal
- Válvula de alivio de línea
- Válvula check (carga)

4.1.4 Subsistema de implementos:

- Sistema Pluma (Boom)
- Sistema Brazo (Stick)
- Sistema Cucharón (Bucket)

4.1.5 Subsistema de Giro

- Sistema hidráulico de giro
- Motor de giro
- Válvula piloto (Freno de bloqueo de giro)
- Válvula de alivio (Giro)
- Distribuidor de aceite
- Válvula de alivio
- Válvula solenoide (Giro fino)
- Mando de giro

4.1.6 Subsistema de Avance

- Sistema hidráulico de avance
- Válvula piloto
- Motor de avance

- Freno de parqueo de avance
- Válvula de cambio de desplazamiento
- Válvula de contrabalance de avance
- Distribuidor de aceite
- Válvula de control de avance recto
- Mando final
- Eslabón giratorio (Swivel)

4.1.7 Subsistema de retorno

- Sistema hidráulico de retorno
- Válvula check
- Válvula bypass
- Filtro y tanque hidráulico
- Filtro de aceite
- Enfriador de aceite hidráulico
- Bomba de ventilador
- Motor del ventilador

4.2 Sistema Motor

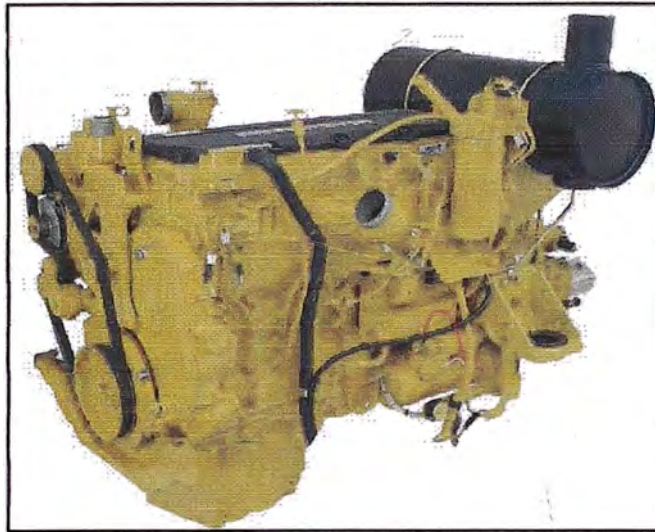


Figura IV.2 Motor de 345HP Tecnología Acert

El sistema motor de la excavadora 345CL es alimentado por el motor CAT C13 tecnología ACERT que cumple con los actuales requerimientos de control mundial de emisiones y los futuros requerimientos de EPA Tier 3. Este motor incluye varias características de diseño que mejoran el rendimiento, la eficiencia y la confiabilidad de la maquina.

Tabla IV.2 Especificaciones técnicas Motor

Motor Diesel C13 con tecnología ACERT		
	KW	HP
Potencia Neta	257	345
ISO 9249	257	345
SAE J1349	257	345
Dimensiones		
Diámetro	130 mm	5.1 in
Carrera	157 mm	6.2 in
Desplazamiento	12.5 L	7.36 in ²

El sistema motor está conformado por los siguientes subsistemas:

- Subsistema Motor Básico (Block)
- Subsistema Enfriamiento
- Subsistema de Lubricación
- Subsistema de Admisión y Escape
- Subsistema Eléctrico
- Subsistema de Combustible

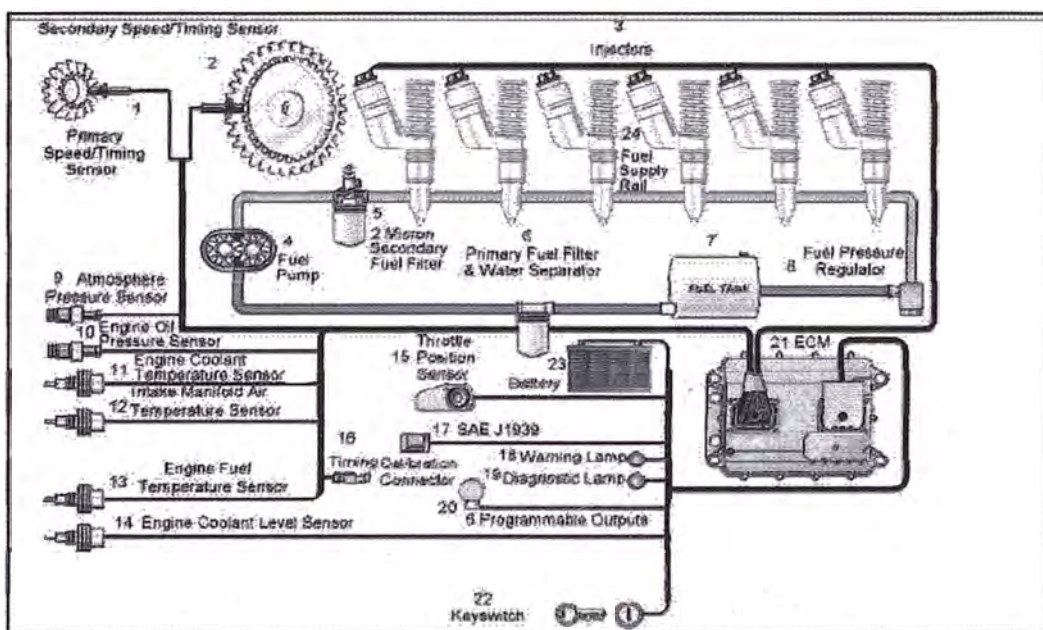


Figura IV.3 Diagrama de sistema combustible

4.3 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico de una manera general podemos dividirlos en 3 subsistemas:

- Subsistema Eléctrico de motor

- Subsistema Eléctrico del sistema hidráulico
- Subsistema Eléctrico de luces

4.4 Sistema Control Electrónico

El sistema de control electrónico está formado por el Modulo de Control Electrónico (ECM), los sensores y actuadores de máquina y la interface de hombre maquina (sistema monitor), que controlan básicamente la entrega de combustible y la sincronización de la inyección. El sistema de control electrónico permite controlar mejor la sincronización y la relación de combustible/aire en comparación con los motores mecánicos convencionales. La sincronización de la inyección se logra por el control preciso del tiempo de disparo, y la velocidad (rpm) del motor se controla ajustando la duración del encendido. Los actuadores en su mayoría se encuentran sobre el sistema hidráulico de tipo electroválvula y estos controlan el flujo y crean restricción según la demanda para realizar el carguío.

4.4.1 ECM

El módulo de control electrónico (ECM) activa el solenoide del inyector unitario para comenzar la inyección de combustible. Además, el ECM desactiva los solenoides del inyector unitario para detener la inyección de combustible.

4.4.2 Sensores

Son los elementos de entrada cuya función son enviar una señal eléctrica al módulo de control electrónico del sistema. La señal enviada varía

en cuanto a su voltaje o frecuencia. La variación de la señal es en respuesta a un cambio en cierto sistema específico del vehículo.

4.4.3 Actuadores

Son los componentes de salida que se controlan por medio de un módulo de control. El componente de salida recibe energía eléctrica del grupo de control electrónico. El componente de salida usa la energía eléctrica en una para realizar trabajo.

4.4.4 Monitor

El sistema monitor es el sistema conformado por los controles del operador, y el monitor que son la interface entre el operador y la maquina.

4.5 Estructura

Es el grupo conformado por el bastidor principal, contrapeso y la estructura de implementos.

4.6 Herramientas

Es el grupo conformado por el cucharón y las herramientas de corte como cantoneras o desgarradores del cucharón.

4.7 Carrilería

Está conformado por la rueda motriz y tren de rodaje. Es la parte de máquina que brinda el soporte estructural para los motores hidráulicos de traslación y sobre el cual se desarrolla el movimiento de la maquina.

4.7.1 Rueda motriz

Es la rueda que transmite el giro y se convierte en desplazamiento a través de las cadenas que forman parte del tren de rodaje. Esta rueda se encuentra acoplada al motor hidráulico de avance, que es quien desarrolla el movimiento.

4.7.2 Tren de rodaje

Es el grupo conformado por el bastidor de rodillos inferiores, la cadena, el resorte tensor, los rodillos, la rueda guía delantera, el regulador de la cadena y guardas.

4.8 COMPONENTES HIDRÁULICOS

4.8.1 CILINDROS

Función: El objetivo principal de los sistemas hidráulicos es impulsar implementos tales como hojas topadoras y cucharones. Esto normalmente se realiza con cilindros, que son actuadores lineales que convierten la energía hidráulica en energía mecánica.

Partes: Las partes principales de los cilindros hidráulicos son:

1. Vástago.
2. Tubo del cilindro.
3. Cáncamo de la cabeza.
4. Cáncamo del vástago.
5. Tapa o Cabeza del cilindro.
6. Puntos de conexión.
7. Pistón.

Tapa o Cabeza del cilindro

La tapa del cilindro rodea el extremo abierto del vástago y tiene una abertura por la que el vástago entra y sale del cilindro. Puede ir atornillada al cilindro o unida a él por medio de pernos de anclaje o de bridas empernadas. La tapa del cilindro a veces tiene una lumbrera.

a) Tapa de cilindro de corona roscada.- Enrosca en la parte exterior del tubo del cilindro.

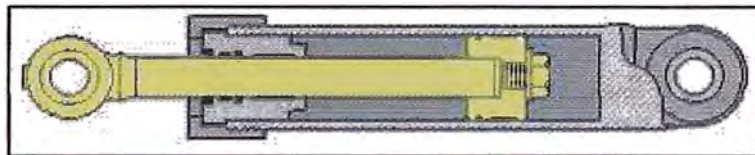


Figura IV.5 Detalle externo de Cilindro

b) Cuello porta-sellos roscado.- Enrosca en el interior del tubo del cilindro.

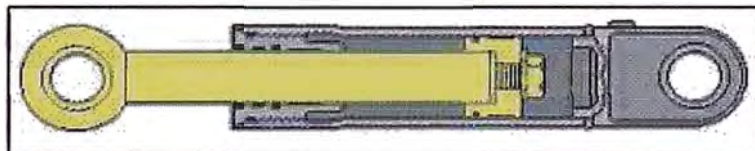


Figura IV.6 Detalle interno del Cilindro

Puntos de conexión

Proporcionan pasajes para el aceite de suministro y de retorno.

Pistón

Es un disco de acero unido al extremo del vástago. La presión hidráulica que se ejerce sobre cualquiera de los lados del pistón hace que el vástago se mueva.

Tuerca del pistón

Fija el vástago al pistón.

Sellos de los cilindros

Un cilindro hidráulico tiene varios sellos:

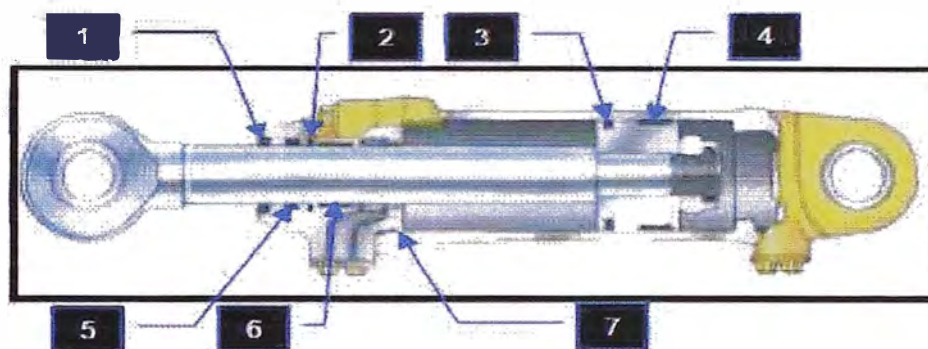


Figura IV.7 Detalle de sellos del cilindro

1. Sello limpiador.- Evita que la suciedad penetre en el cilindro.
2. Sello amortiguador.- Es el sello secundario del vástago y su función consiste en evitar que los picos de presión lleguen al sello del vástago.
3. Sello del pistón.- Proporciona un sellado entre el pistón y el tubo del cilindro. Esto reduce las fugas que se producen entre el vástago y el extremo de cabeza del pistón.
4. Anillo de desgaste del pistón.- Centra el pistón en el tubo del cilindro y evita que el pistón raye al tubo.
5. Sello del vástago.- Es el sello principal del vástago y su función es sellar el aceite dentro del cilindro para evitar las fugas.
6. Anillo de desgaste del vástago.- Es un manguito que centra el vástago en la tapa y evita que la tapa raye el vástago.

7. Sello de la tapa.- Mantiene la presión del sistema y evita las fugas entre la tapa y el tubo del cilindro.

Modos de Falla en los cilindros

- Fugas interiores y exteriores.
- Roturas.
- Daños físicos.



Figura IV.8 Detalle Modo de Fallas - Cilindros

Causas de las Fallas

- Los contaminantes ocasionan picaduras y ralladuras.
- Exceso de presión.
- Montaje inadecuado.
- Desgaste.
- Abuso en la operación.

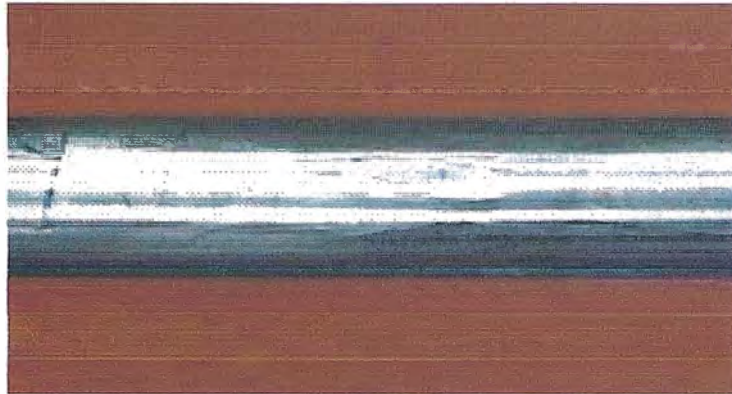


Figura IV.9 Detalle Causa de las Fallas- Cilindro

Síntomas de fallas

- Fugas de aceite.
- Debilitamiento hidráulico más allá de las especificaciones (solamente se aplica cuando el vástago está extendido).
- Rajaduras de los componentes.
- Picaduras y ralladuras del vástago.
- Los implementos se bajan.



Figura IV.10 Detalle señales de fallas – Cilindro

4.8.2 LINEAS HIDRÁULICAS

4.8.2.1. Tubos

Un tubo es una tubería hidráulica rígida generalmente hecha de acero. Los tubos se utilizan para conectar los componentes que no rozan unos con otros.

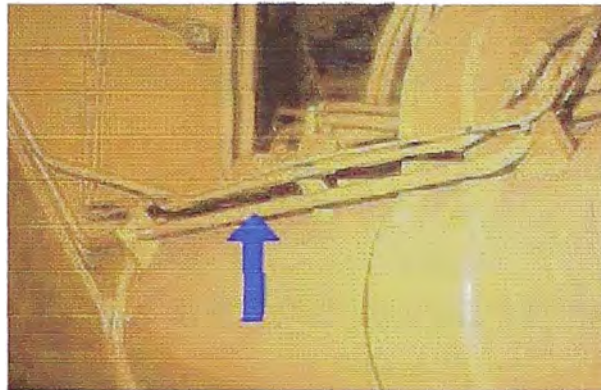


Figura IV. 11 Detalle de tubería hidráulica

En general, los tubos también requieren menos espacio que las mangueras y pueden conectarse firmemente a la máquina, dando mayor protección a las tuberías y una mejor apariencia general a la máquina.

4.8.2.2. Mangueras Hidráulicas

Las mangueras hidráulicas se usan en los casos en que se necesita flexibilidad, como cuando los componentes rozan unos con otros. Las mangueras absorben la vibración y resisten las variaciones de presión.

Partes de las mangueras

Las mangueras se hacen de diferentes capas en espiral. El tubo interior de polímero (1) transporta el aceite. Una capa de alambre de refuerzo o

envoltura de fibra (2) sostiene al tubo interior. Si hay más de una capa de refuerzo, estarán separadas por una capa de fricción de polímero (3). La cubierta exterior (4) protege la manguera del desgaste.

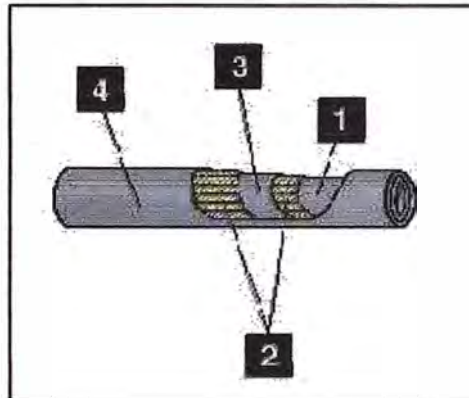


Figura IV. 12 Detalle de manguera hidráulica

Tipos de mangueras

La selección de mangueras dependerá de su uso (temperatura, fluido a transportar, etc.) y de los niveles de presión que soportará el sistema.

El siguiente cuadro muestra los niveles de presión que soporta cada tipo de manguera CAT:

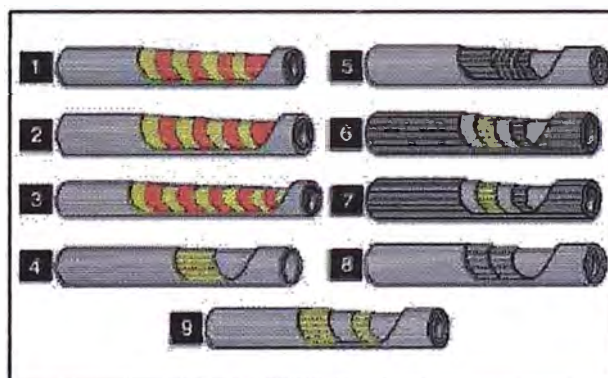


Figura IV. 13 Tipos de manguera por nivel de presiones

Tipos según nivel de presiones

1. XT-3 (Cuatro espirales) 2500-4000 PSI

2. XT-5 (Cuatro / seis espirales) 5000 PSI
3. XT-6 (Seis espirales) 6000 PSI
4. 716 (de una malla de alambre) 625-2750 PSI
5. 844 (succión hidráulica) 100-300 PSI
6. 556 (de una malla cubierta con tela) 500-3000 PSI
7. 1130 (Motor / frenos de aire) 250-1500 PSI
8. 1028 (Termoplástico) 1250-3000 PSI
9. 294 (de dos mallas de alambre) 2250-5800 PSI

4.8.2.3. Conexiones

Conexiones es un término que se refiere a una serie de acoplamientos, bridas y conectores que se utilizan para conectar mangueras y tubos a los componentes hidráulicos.



Figura IV. 14 Tipos de conectores

4.8.2.4. Acoplamientos

Los acoplamientos son los elementos que se utilizan para conectar las mangueras a los componentes o a las tuberías.

Existen tres tipos:

Acoplamientos Reutilizables

El acoplamiento Caterpillar de tipo collar es un acoplamiento reutilizable compuesto por un conjunto de vástago con collar y un manguito de acero. El vástago se inserta en el extremo de la manguera mientras que las uñetas en cuña del collar se extienden hacia abajo por la superficie exterior. Luego se presiona el manguito sobre las uñetas para mantener el acoplamiento en la manguera. Estos acoplamientos se utilizan por lo general con una brida de dos piezas y un anillo para acoplar mangueras de alta presión y gran tamaño.



Figura IV. 15 Acoplamiento tipo collar

Bridas

Las bridas se utilizan para conectar mangueras y tubos de gran diámetro a bloques, cuerpos de válvulas y otros componentes.

Las bridas pueden soldarse directamente a un tubo, o conectarse a un acoplamiento de mangueras, y después atornillarse a un componente

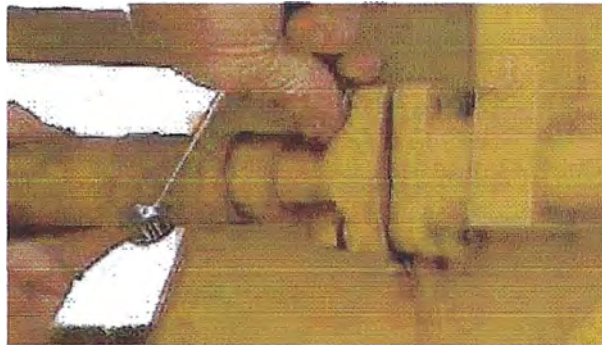


Figura IV. 16 Detalle de bridas

Tipos de bridas

En las máquinas Caterpillar se pueden encontrar dos tipos de bridas:

- Brida SAE de cuatro tornillos: Dos capacidades de presión.

1. Código 61 estándar: de 3000-5000 PSI (Según la clasificación de la manguera).
2. Código 62: 6000 PSI.

-Brida dividida JIS: Igual a la SAE pero con pernos métricos.



Figura IV. 17 Brida SAE

Anillos de sellos

Los anillos de sellos, tales como los anillos tóricos (O'ring) y los anillos de sección en D (D'ring), se utilizan para sellar una brida y su superficie de sellado.

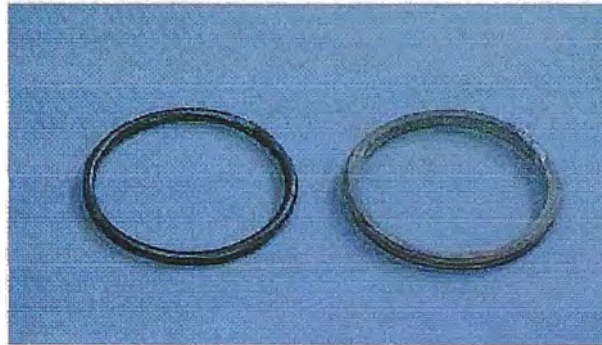


Figura IV. 18 O-ring y D-ring

Conectores Roscados

Los conectores roscados se utilizan tanto para las conexiones de tubos como de manguera. Su uso por lo general está limitado a las tuberías que tienen 1" o menos de diámetro. Los conectores roscados de los sistemas hidráulicos por lo regular se hacen de acero.

Modos de Falla

Se producen fugas en las tuberías o las mangueras.

- Las tuberías o las mangueras se parten o se revientan.
- Las soldaduras y los acoplamientos se rompen.
- Los acoplamientos y conectores tienen fugas.

Causas de falla

Tuberías / Mangueras

- Abrasión.
- Daño externo.
- Exceso de temperatura.
- Exceso de presión.
- Fatiga / envejecimiento.

- Tendido incorrecto.
- Tubería inadecuada para la aplicación.

Conexiones

- Montaje / instalación inadecuada.
- Par de apriete incorrecto.
- Sellos dañados.
- Exceso de presión.
- Exceso de temperatura

Señales de falla

- Fuga de aceite de la tubería o el conector.
- Acumulación de suciedad alrededor de los conectores.
- Mangueras deshilachadas o cuarteadas.

4.8.3 FILTROS

Función: Un filtro remueve partículas pequeñas extrañas del fluido hidráulico y es más efectivo para proteger el sistema hidráulico. Los filtros están localizados en un reservorio, una línea de presión, una línea de retorno, o en cualquier otro sitio donde sea necesario.

El elemento o malla se clasifica en micrones, según el tamaño de las perforaciones, de acuerdo con su capacidad de atrapar las partículas. Cuanto más pequeño sea el tamaño de las perforaciones, más pequeñas serán las partículas que podrá atrapar.

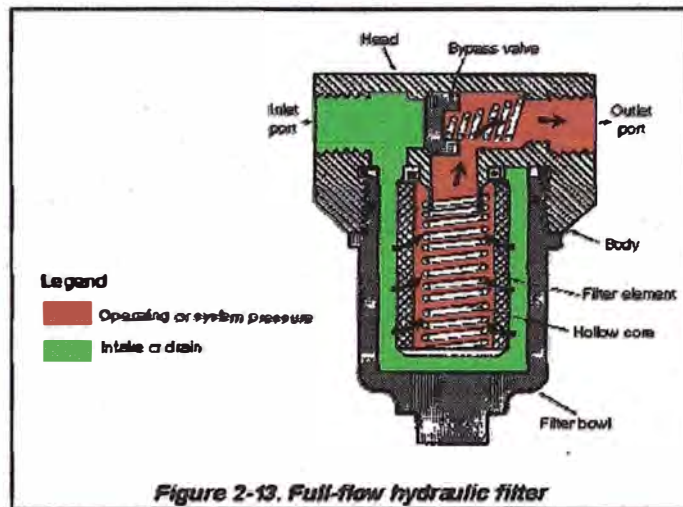


Figura IV.19 Detalle de Filtro

Tipos de filtro

Según su diseño

Existen básicamente dos tipos de filtros de aceite. (1) Los de superficie y (2) los de profundidad. Tal como el nombre lo indica, los filtros de superficie recogen los contaminantes en la superficie del elemento del filtro o malla. Los filtros de profundidad recogen los contaminantes de diferentes tamaños a diferentes niveles dentro del elemento.

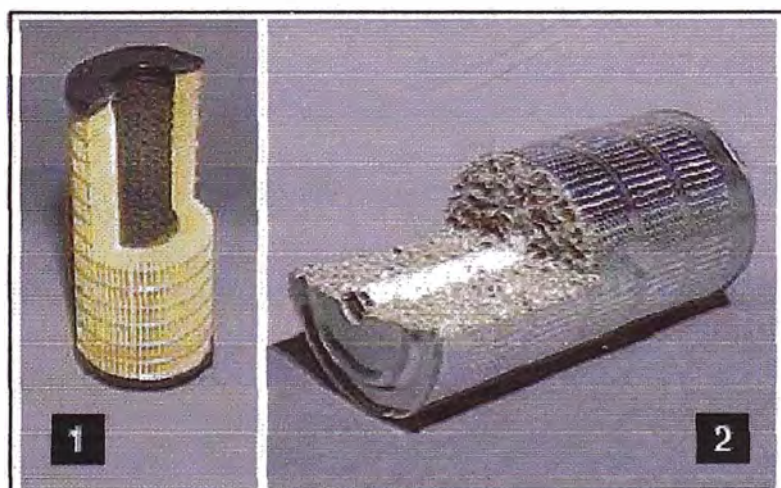


Figura IV.20 Tipos del Filtro

Según su ubicación

Un sistema hidráulico puede requerir varios filtros, cada uno con su propio propósito y ubicación.

a) Filtro presurizado.- El filtro presurizado evita que las partículas finas contaminantes penetren en las válvulas y los accionadores, pueden ser un filtro del tipo de superficie o del tipo de profundidad.

b) Filtro de succión.- El filtro de succión evita que los contaminantes de gran tamaño penetren en las bombas y demás componentes. Hay muy poca caída de presión entre la entrada y la salida, para evitar la cavitación de la bomba. Los filtros de succión por lo general son filtros de superficie.

c) Filtro de drenaje de la caja del motor o de la bomba.- Elimina los residuos que se producen con el desgaste o falla de un motor o bomba. Es un filtro de baja presión y poco volumen y puede ser del tipo de tubo o enroscable.

d) Filtro de retorno.- El filtro de retorno elimina los contaminantes que entran en el sistema durante la operación, evitando que penetren en el tanque. Es un filtro de superficie.

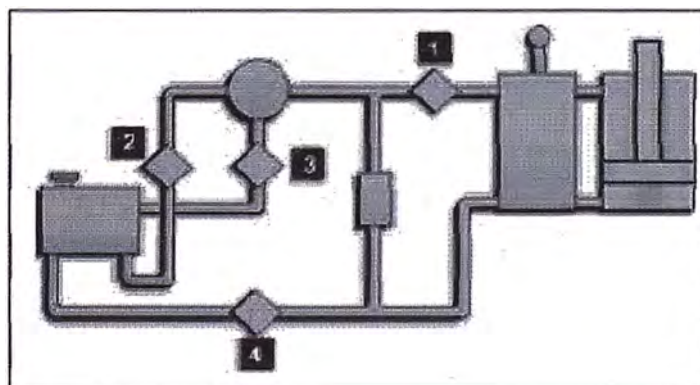


Figura IV.21 Filtro de Retorno

Modos de falla en los filtros

En cada una de estas situaciones, el aceite contaminado se desvía y no pasa por el filtro:

- Los filtros se taponan.
- Los filtros se deforman y estropean.
- El filtro no asienta bien.

Causa de las fallas de los filtros

No se presta atención a los intervalos de servicio del filtro.

- Daños externos.
- Instalación incorrecta.
- Contaminantes raros.
- Fallas de componentes.

Síntomas de las fallas

- Aceite contaminado.
- Desgaste acelerado de los componentes de las válvulas.
- Bomba con ruido.
- Alarma de la válvula de derivación.

4.8.4 BOMBAS

Funciones

Las bombas hidráulicas convierten la energía mecánica en energía hidráulica en forma de flujo de fluido.

Las bombas producen solamente caudal o flujo (en galones por minuto, litros por minuto, centímetros cúbicos por revolución, etc.) el mismo que es utilizado en un sistema hidráulico. Las bombas no generan presión. La presión es originada por la resistencia al flujo. Esta resistencia es causada por los diferentes componentes del sistema como mangueras, válvulas, orificios, acoplamientos, conexiones, cilindros, motores o cualquier otro componente que se encuentre en el camino del flujo hacia el tanque.

Aunque las bombas no generan directamente presión hidráulica, deben diseñarse para soportar los requisitos de presión del sistema. Por lo general, cuanto mayor sea la presión de operación, mayor será la bomba.

Tipos de Bombas

Las bombas pueden ser clasificadas dentro de dos grandes grupos:

- Bombas de desplazamiento NO POSITIVO.
- Bombas de desplazamiento POSITIVO.

Bombas de desplazamiento NO POSITIVO

Las bombas de desplazamiento NO POSITIVO presentan mayores espacios (holgura) entre sus partes móviles y estacionarias que sus similares de desplazamiento POSITIVO. Esta mayor holgura permite que una mayor cantidad de líquido pueda recircular entre las partes cuando la presión (resistencia al flujo) de salida aumenta.

Este tipo de bombas son menos eficientes debido a que el flujo de salida decrece considerablemente con el aumento de la presión de salida. Estas bombas generalmente son presentadas en dos tipos:

- Centrifugas

- Axiales

Estas son utilizadas en aplicaciones de baja presión como bombas de agua de automóviles, bombas de agua para suministro doméstico e industrial y como bombas de carga para bombas de pistón en sistemas hidráulicos de alta presión.

Bombas Centrifugas

La bomba centrifuga consiste en dos porciones básicas: el impulsor (2) que se monta en el eje de entrada (4) y la cubierta (3). El impulsor tiene una parte posterior sólida o disco con láminas curvadas (1) moldeadas en el lado de la entrada. El líquido ingresa al centro de la cubierta (5) cerca del eje de entrada y fluye por el impulsor.

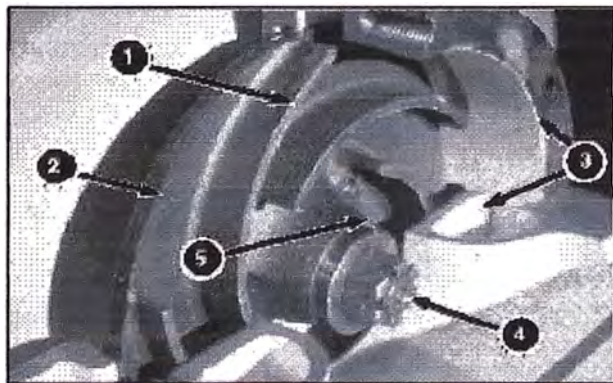


Figura IV.22 Bombas Centrifugas

Las láminas curvadas del impulsor impulsan el líquido hacia fuera, contra la cubierta. La cubierta está moldeada de tal forma que direcciona el líquido al puerto de salida.

Bombas Axiales

El tipo axial se asemeja a un ventilador eléctrico de aire. Se monta en un tubo recto y tiene un propulsor aplanado abierto. El líquido es propulsado abajo del tubo por la rotación de las láminas anguladas.

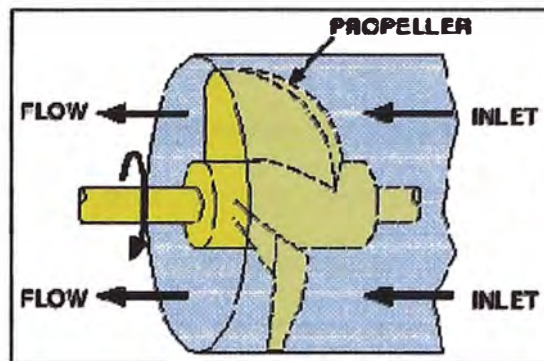


Figura IV.23 Bombas Axiales

Bombas de desplazamiento POSITIVO

Son las bombas que siempre generan flujo cuando están funcionando. La mayoría de las bombas que se utilizan en las máquinas Caterpillar son de este tipo. Hay tres tipos básicos de bombas de desplazamiento positivo:

- De engranajes
- De paletas
- De pistón

Las bombas de desplazamiento positivo tienen holguras (espacios) entre componentes mucho más pequeños. Esto reduce las fugas y proporciona mayor eficiencia cuando se utiliza en sistemas hidráulicos de alta presión. El flujo de la salida en una bomba de desplazamiento positivo es básicamente igual para cada revolución de la bomba. Las bombas de desplazamiento positivo son clasificadas por el control de flujo de salida y por su

construcción. Dentro de la clasificación por el control de flujo de salida tenemos:

De caudal fijo (desplazamiento fijo): Son las que mueven un volumen constante o fijo de fluido en cada revolución de la bomba. Las bombas de engranajes y algunas bombas de paletas son bombas de caudal fijo.

De caudal variable (desplazamiento variable): Pueden ajustar el volumen del fluido que se impele durante cada revolución. Este caudal puede ser controlado manual o automáticamente. En algunos casos se puede encontrar una combinación de ambos controles. Las bombas de pistones y algunas bombas de paletas pueden ser de caudal variable.

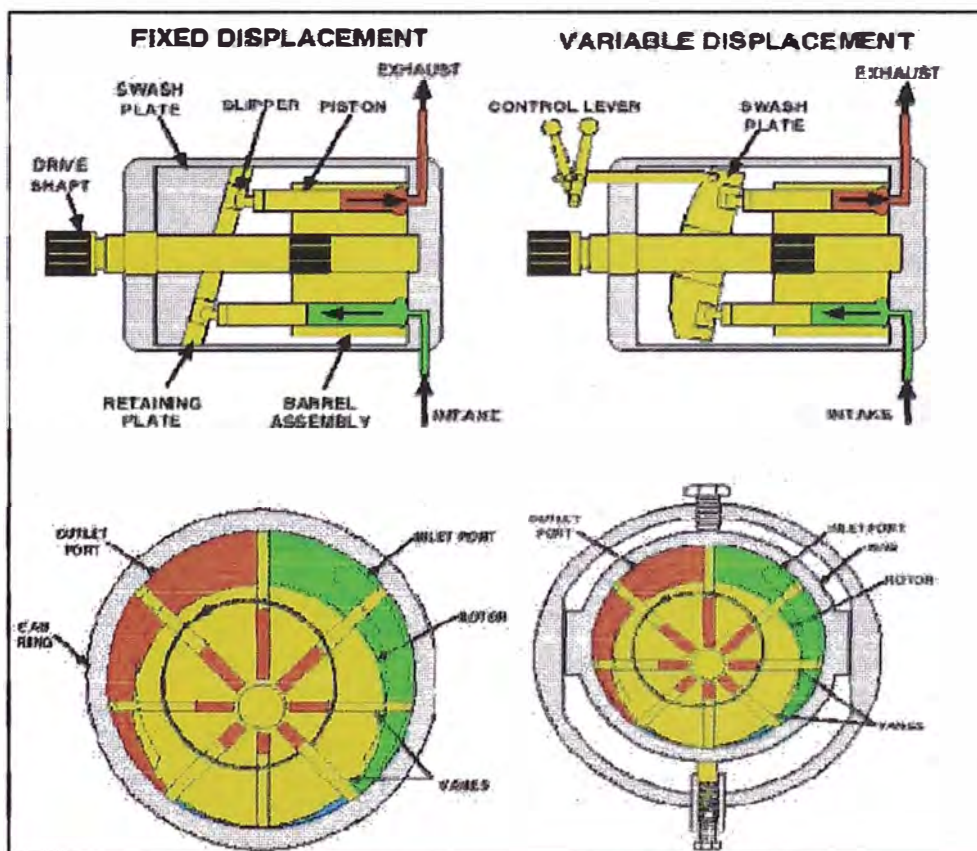


Figura IV.24 Bomba de desplazamiento y caudal Variable

Bombas de Engranajes

Las bombas de engranajes son bombas de caudal positivo y fijo. Su diseño simple, de recia construcción, las hacen útiles en una amplia gama de aplicaciones.

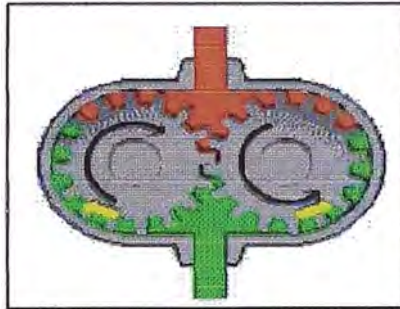


Figura IV.25 Bomba de Engranajes

Componentes

Los componentes de una bomba de engranajes se identifican en la siguiente ilustración:

1. Sellos
2. Plancha de presión
3. Engranaje loco
4. Engranaje de impulsión
5. Caja

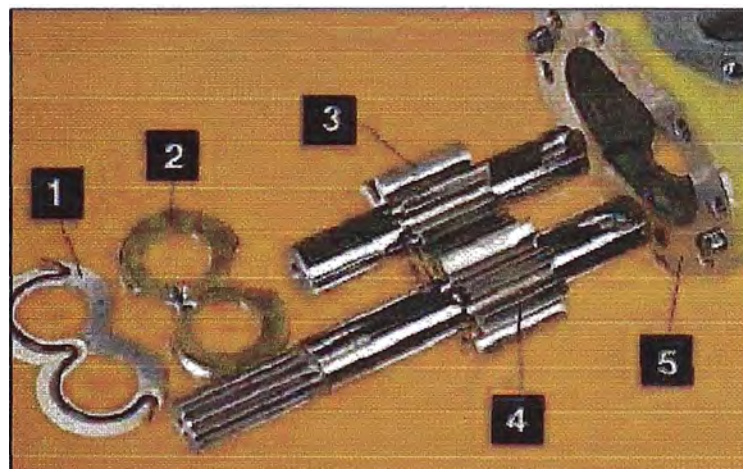


Figura IV.26 Componentes de Bomba de Engranaje

Funcionamiento de la bomba de engranajes

Un eje de impulsión hace girar el engranaje impulsor, el cual hace girar el engranaje loco. A medida que giran los engranajes, los dientes del engranaje forman un sello contra la caja. El aceite entra por la lumbrera de entrada quedando atrapado entre los dientes y la caja, es impulsada y obligada a salir por la lumbrera de salida.

Bombas de Paletas

Las bombas de paletas son bombas de caudal positivo y fijo. Estas bombas de larga duración y suave funcionamiento son de uso frecuente. La mayoría de las bombas de paletas Caterpillar son bombas balanceadas con un par de lumbreras de entrada y un par de salida. Las lumbreras de cada par están ubicadas en lados opuestos. La fuerza centrífuga, los resortes o la alta presión de aceite empujan las paletas contra la superficie interior del anillo. Esto permite que las paletas se ajusten automáticamente según el desgaste.

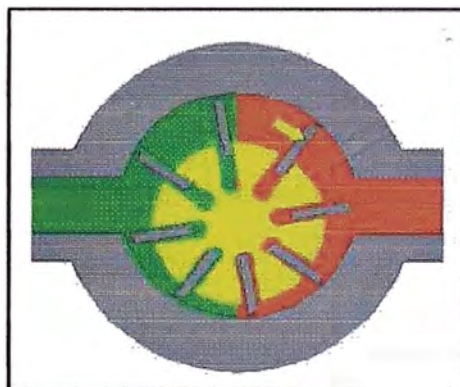


Figura IV.27 Bomba de Paletas

Componentes

Los componentes de una bomba de paletas son los siguientes:

1. Caja del extremo

2. Plancha flexible
3. Rotor
4. Anillo excéntrico
5. Paletas
6. Sello
7. Caja del extremo

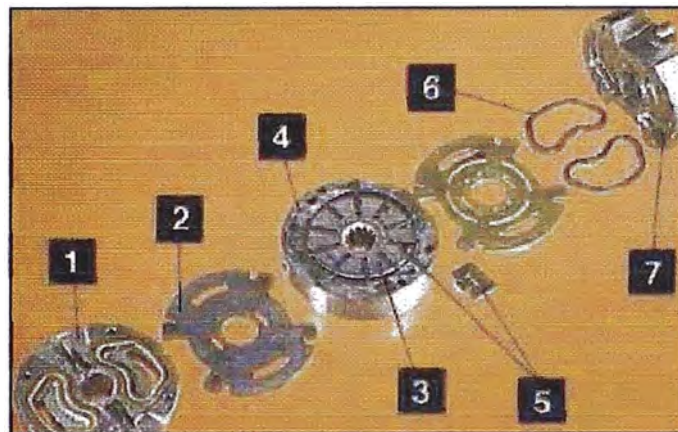


Figura IV.28 Componente de Bomba de Paletas

Funcionamiento de la bomba de paletas

Un eje de impulsión gira el rotor. El aceite penetra en la cámara creada entre las dos paletas y la caja, es impulsada hacia la lumbrera de salida. La bomba de paletas consiste en: un anillo de leva, paletas y un rotor ranurado.

Bombas de Pistones

Las bombas de pistones pueden ser de caudal fijo o variable, según su diseño. Estas bombas versátiles y eficientes se utilizan frecuentemente en los sistemas hidráulicos de detección de carga y presión compensada.

Componentes

Una bomba de pistones de caudal variable consiste en:

1. Eje impulsor.
2. Tambor de cilindros.
3. Placa de la lumbrera.
4. Pistones.
5. Retenes.
6. Placa de retracción.
7. Plato basculante.

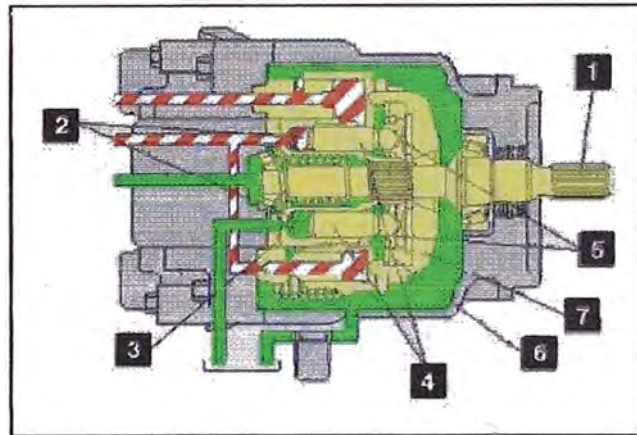


Figura IV.29 Bomba de Pistones de Caudal

Funcionamiento de la bomba de pistones

El eje impulsor está conectado al tambor de cilindros. A medida que gira, los pistones, que están conectados al plato basculante, suben y bajan en los cilindros. A medida que el pistón se retrae, hace penetrar aceite en el cilindro por la lumbrera de entrada y luego lo expulsa en la carrera descendente por la lumbrera de salida. El caudal de aceite impulsado depende del ángulo del plato basculante. Cuando el plato basculante está

situado en un ángulo máximo, habrá el máximo caudal. Cuando está situado en un ángulo cero, no habrá caudal ni flujo.

Bombas de pistón de caudal fijo

Las bombas de pistones también pueden ser de caudal fijo. En este tipo de bombas se tiene un ángulo fijo del conjunto del tambor y pistones con respecto al eje de impulsión.

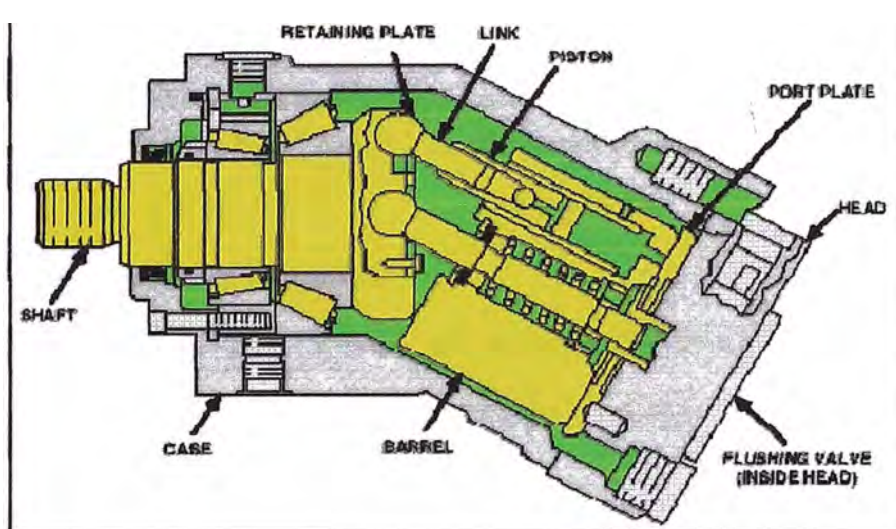


Figura IV.30 Bomba de Pistones de Caudal Fijo

Bomba de pistones radiales

La bomba de pistones radiales mueve los pistones de adentro hacia fuera en línea perpendicular a la línea del eje de accionamiento. Cuando los rodillos seguidores de las levas caen en la base de la leva en el anillo exterior, el pistón sale. La presión atmosférica o la carga de la bomba empujan el aceite a través de la válvula de admisión y llena el interior de la cámara formada por la salida del pistón. Cuando los rodillos seguidores de las levas suben a la cresta de la leva del anillo exterior, el pistón entra. En este momento el

aceite contenido en la cámara es expulsado por la válvula de salida, generándose el flujo de salida.

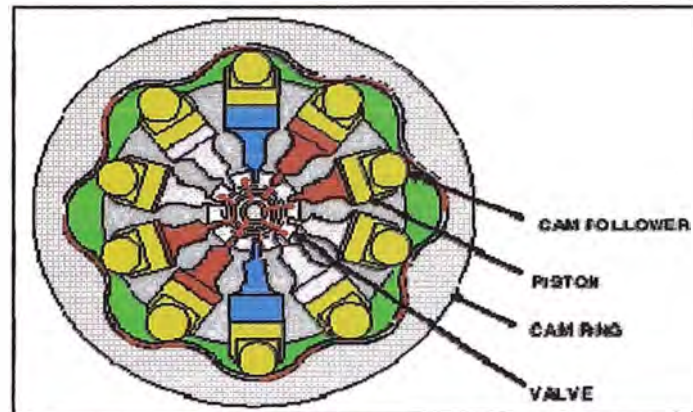


Figura IV.31 Bomba de Pistones Radiales

Desplazamiento de la bomba

El desplazamiento de la bomba se calcula midiendo el volumen de fluido movido durante una revolución completa de la bomba.

Caudal de la bomba

El caudal de la bomba se calcula midiendo el volumen de fluido movido durante un tiempo determinado. Se expresa en galones por minuto o en litros por minuto (gal/min o l/min).

Cuando se exprese en volumen por revolución, el caudal pueden ser convertido fácilmente multiplicándolo por la velocidad en RPM (es decir 2000 RPM) y dividiéndolo por una constante. Por ejemplo, calculemos el flujo de una bomba que gire a 2000 RPM y tenga un flujo de 11.55 in³/rev o 190 cc/rev.

$GPM = \frac{\text{in}^3 / \text{rev} \times \text{rpm}}{231}$ $GPM = \frac{11.5 \times 2000}{231}$ $GPM = 100$	$LPM = \frac{\text{cc} / \text{rev} \times \text{rpm}}{1000}$ $LPM = \frac{190 \times 2000}{1000}$ $LPM = 380$
---	--

Modos de falla de las bombas

- Cavitación.
- Aireación.
- Contaminación.
- Fluido inadecuado.
- Exceso de calor / presión.
- Desgaste normal



Figura IV.32 Detalle de Falla de Bomba

Cavitación

Cuando una bomba o un motor no reciben aceite o recibe muy poco aceite, se forman cavidades de vapor que se desintegran en la bomba. Esto ocasiona implosiones que desgastan los componentes internos de la bomba o del motor. Además los componentes se rayan debido a la falta de lubricación.

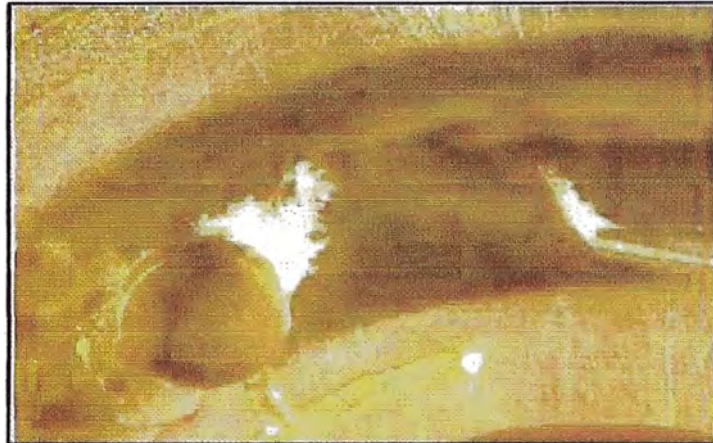


Figura IV.33 Señales de cavitación en Bomba

Síntomas de la cavitación

- Traqueteo peculiar.
- Operación defectuosa del implemento.
- Acumulación de calor en la bomba (la pintura de la bomba se quema).

Causas de la cavitación

- Tubería de entrada restringida (ej. filtro taponado).
- Exceso de velocidad.
- Bajo nivel de aceite.
- Viscosidad de aceite demasiado alta.
- Falla de presurización del tanque.
- Cambios no autorizados en el sistema y/o piezas de inferior calidad.

Aireación

La aireación consiste en el proceso de atrapar el aire que se encuentra en el aceite, lo que es ocasionado por las fugas de aceite en el sistema. Las burbujas

explotan cuando entran en la bomba o en el motor, causando el desgaste de los componentes internos.

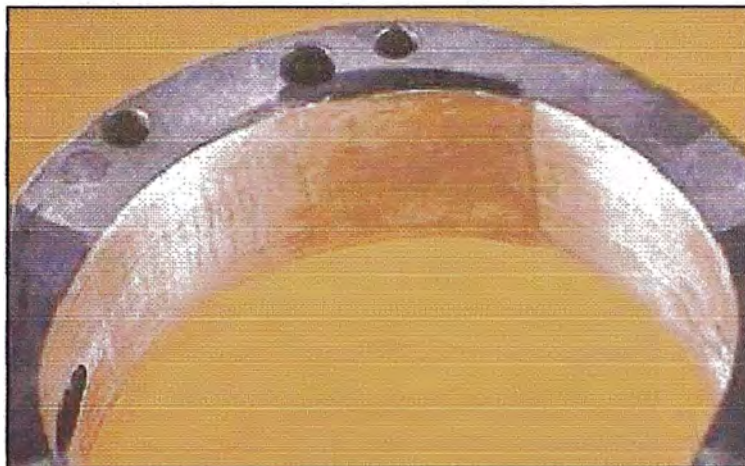


Figura IV.34 Señales de Aireación

Síntomas de la aireación

- Ruido en la bomba o en el motor.
- Operación errática del implemento.
- Acumulación de calor en la bomba o en el motor.
- Los controles del implemento están muy suaves.
- Aceite espumoso.

Contaminación del aceite

Las bombas y los motores son susceptibles a los daños ocasionados por la suciedad, el agua y otros contaminantes abrasivos.

Causas de la contaminación

- Mantenimiento deficiente.
- Conexiones flojas en las tuberías.

- Sellos dañados.
- Hábitos de trabajo descuidados (Dejar el tanque destapado, permitir que contaminantes entren en el tanque al restablecer aceite, dejar el tanque sin la tapa de ventilación).



Figura IV.35 Superficie con Ralladuras, aceite contaminado

Viscosidad Inadecuada del fluido

Es importante utilizar aceite con la viscosidad apropiada. A continuación se describen algunos problemas que pueden ocurrir si se utiliza un tipo de fluido incorrecto:

Fluido insuficientemente viscoso:

- Aumento de fugas internas y externas.
- Patinaje de la bomba o del motor.
- Exceso de desgaste de los componentes debido a lubricación inadecuada.
- Reducción de la presión del sistema.
- Los controles del implemento están muy suaves.

Fluido demasiado espeso:

- Aumento de la fricción interna.
- Aumento de la temperatura con la resultante acumulación de residuos
- Iodosos.
- Operación lenta y errática.
- Se requiere más potencia para la operación.

Señales de falla

- Ruido (tanto la cavitación como la aireación producen traqueteo).
- Desempeño deficiente de la máquina.
- Reducción de capacidad.
- Operación errática.
- Los controles están muy suaves.
- Exceso de calor.
- Exceso de fugas.
- Aceite espumoso.

4.8.5 VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN

Las válvulas de control de presión son usadas para controlar la presión en el circuito o en un sistema. La función de la válvula será la misma aunque el diseño podría cambiar. Algunas de las válvulas de control de presión que estudiaremos son válvulas de alivio, válvulas de secuencia, válvulas reductoras de presión, válvulas de presión diferencial y válvulas de descarga.

4.8.5.1 VÁLVULAS DE ALIVIO

Los sistemas hidráulicos están diseñados para operar en un rango de presión. Excediendo este rango podríamos dañar los componentes del sistema o podría provocar un daño personal. La válvula de alivio mantiene la presión dentro de un límite establecido al abrir y permitir que el exceso de aceite fluya, ya sea hacia otro circuito o de regreso al tanque.

Válvula de alivio simple, Presión de apertura (cracking pressure)

La válvula de alivio simple (también llamada válvula de actuación directa) es mantenida cerrada por la fuerza del resorte. La tensión del resorte es regulada a la "presión de alivio". Sin embargo la presión de regulación de alivio no es la presión a la cual la válvula comienza a abrirse.

Cuando se dan las condiciones para que exista una resistencia al flujo normal de aceite, el exceso de flujo de aceite causa el incremento de la presión de aceite. Dicho incremento de presión es sentido por la válvula de alivio. Cuando la fuerza del incremento de la presión de aceite supera la fuerza del resorte de la válvula de alivio, la válvula se mueve contra el resorte y comienza a abrirse. La presión requerida para iniciar la apertura de la válvula es llamada la **presión de apertura (cracking pressure)**. La válvula abre justo lo suficiente para permitir que el exceso de aceite fluya a través de la válvula.

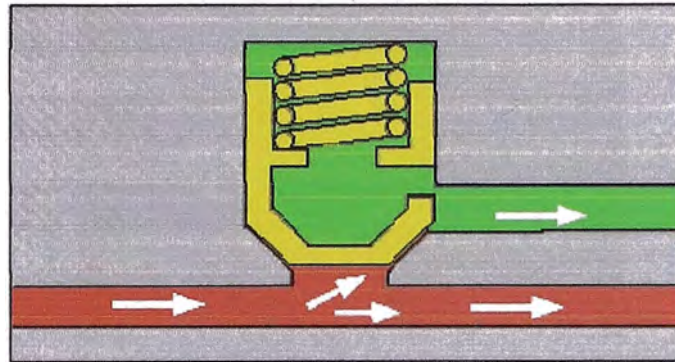


Figura IV.36 Válvula de Alivio – Presión de apertura

**Válvula de alivio simple, regulación de la presión de alivio
(relief pressure setting)**

Un incremento en la resistencia al flujo de aceite, incrementa el volumen de aceite en exceso y por consiguiente incrementa la presión del circuito. El incremento de la presión del circuito supera **la nueva tensión** del resorte y abre más la válvula de alivio. El proceso es repetido hasta que el máximo volumen del aceite en exceso esté fluyendo a través de la válvula de alivio. Esta es la regulación de la presión de alivio (relief pressure setting).

La válvula de alivio simple es comúnmente usada donde el volumen de aceite en exceso es bajo o donde hay una necesidad de una respuesta rápida.

Esto hace ideal a la válvula de alivio simple para aliviar presiones picos o como una válvula de seguridad.

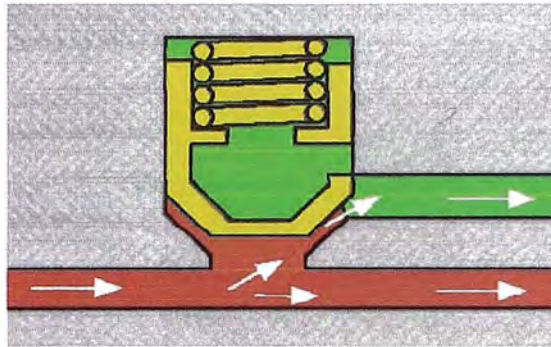


Figura IV.37 Regulación de la Presión

Válvula de Alivio Pilotada

Además de los elementos de una válvula simple, cuenta también con una válvula adicional o piloto, más pequeña, que regula la presión, lo cual permite que la válvula se abra y se cierre ante fluctuaciones menores en el sistema. Esto elimina el ruido y permite un control más preciso ante mayores requerimientos de alivio, primero la válvula más pequeña se abre, se produce una mayor diferencia de presión en el carrete más grande, lo que hace que la válvula mayor con el resorte ligero se abra y deje pasar el aceite.

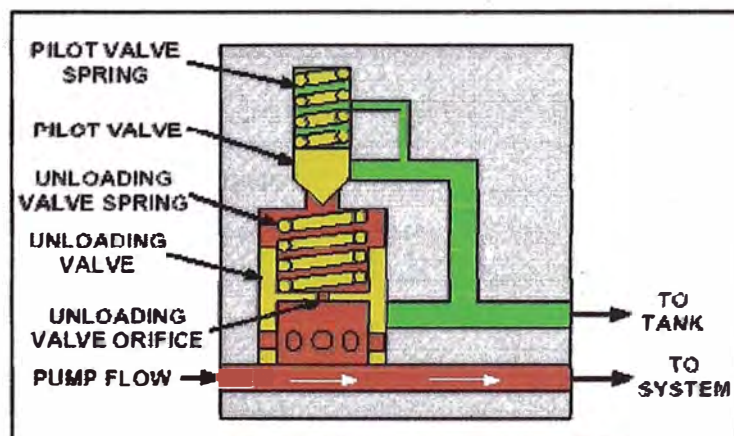


Figura IV.38 Válvula de alivio Posición Cerrada

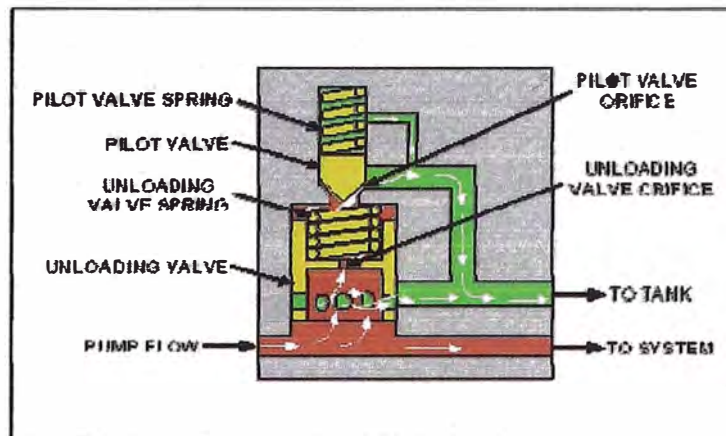


Figura IV.39 Válvula de alivio Posición Abierta

4.8.5.2 VÁLVULAS DE SECUENCIA

Válvula de secuencia, Posición abierta

Cuando la presión en la cámara del resorte de la válvula de descarga excede la regulación del resorte de la válvula piloto. La válvula piloto se abre. La válvula piloto abierta permite al aceite en la cámara del resorte de la válvula de descarga fluir hacia el tanque. Esto permite que la presión del aceite en dicha cámara disminuya. La fuerza de la presión de aceite mayor del sistema mueve la válvula de descarga contra la fuerza del resorte de la válvula de descarga y abre el pasaje al circuito 2. La válvula de secuencia permanece abierta hasta que la presión en el circuito 1 disminuya a menos de la presión de regulación del resorte.

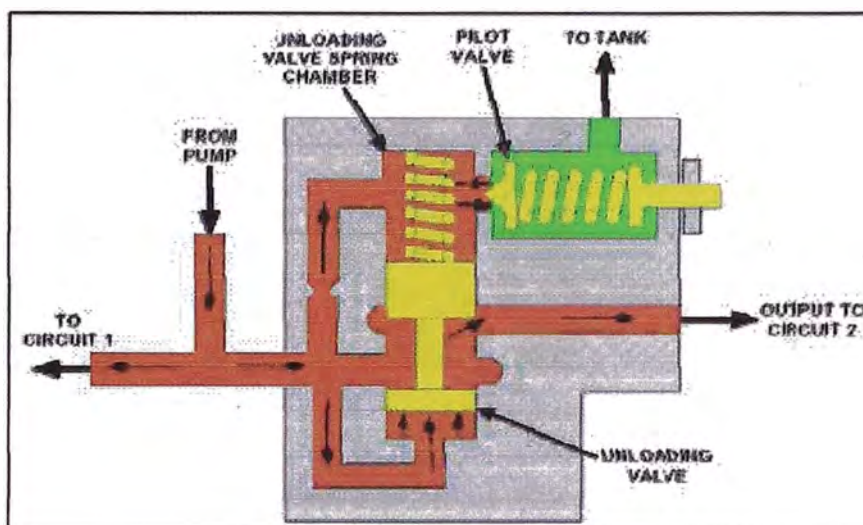


Figura IV.40 Válvula de secuencia Posición Abierta

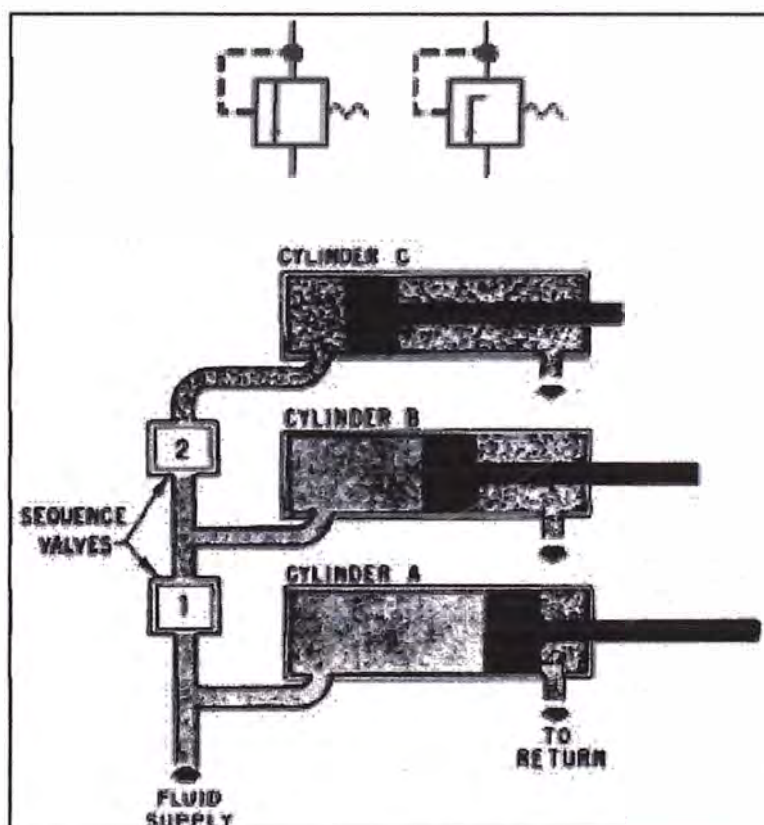


Figura IV.41 Esquema de funcionamiento de válvula de secuencia

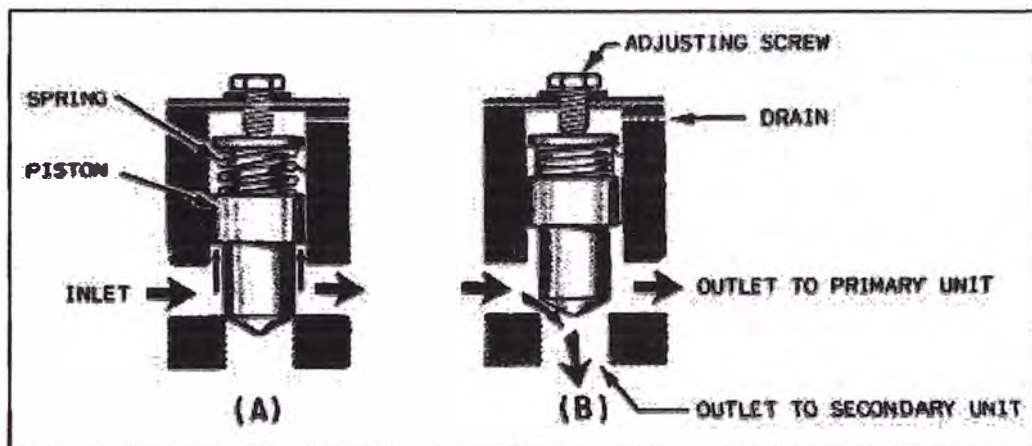


Figura IV.42 Válvula de secuencia posición abierta

4.8.5.3 VÁLVULA DE REDUCCION DE PRESION

Se utilizan cuando la demanda de presión de un circuito es menor que la presión de suministro. Básicamente consta de un pistón, un resorte y un carrete. La fuerza del resorte determina la máxima presión corriente debajo de la válvula. La válvula está normalmente abierta. A medida que el flujo pasa por el carrete, la presión aumenta corriente abajo. Al aumentar la presión en la cavidad del pistón, esta actúa contra el pistón y el carrete y comienza a cerrar la válvula hasta encontrar el equilibrio.

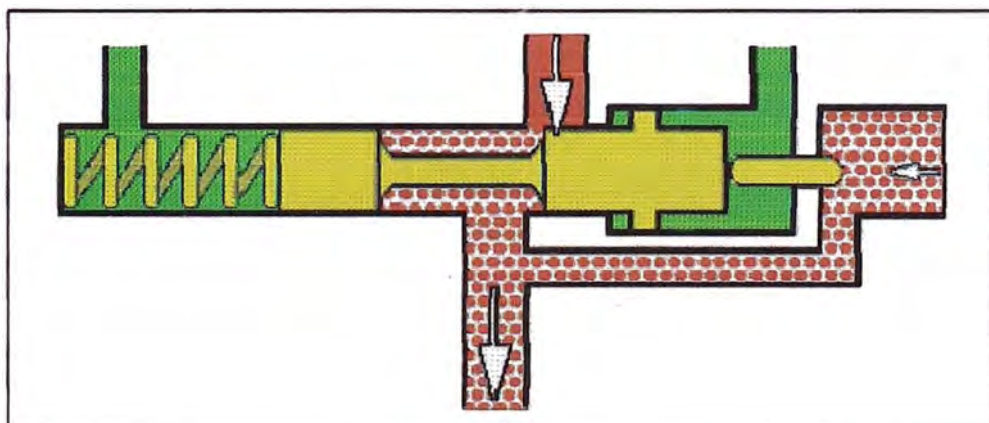


Figura IV.43 Válvula de reducción de presión

4.8.5.4 VÁLVULAS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN

Permite establecer una secuencia de suministro de aceite a dos circuitos, o mantener una diferencia de presión constante entre dos circuitos. Está compuesta por un carrete y un resorte. Inicialmente el carrete bloquea el flujo desde el circuito primario hacia el secundario. Una vez que se satisfacen los requisitos de flujo hacia el circuito primario, la presión aumenta, desplazando el carrete contra el resorte y permitiendo el flujo hacia el circuito secundario y la cámara del resorte. A medida que aumenta la presión secundaria, la válvula retrocede. La válvula constantemente ajustará su posición de forma que la presión en el circuito secundario iguale la presión en el primario menos la fuerza del resorte.

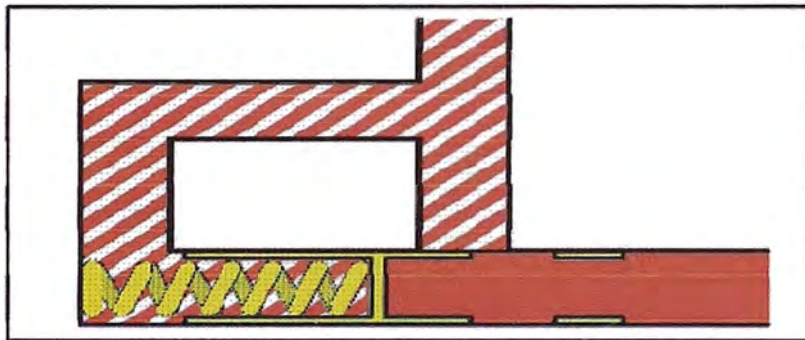


Figura IV.44 Válvula de diferencia de presión

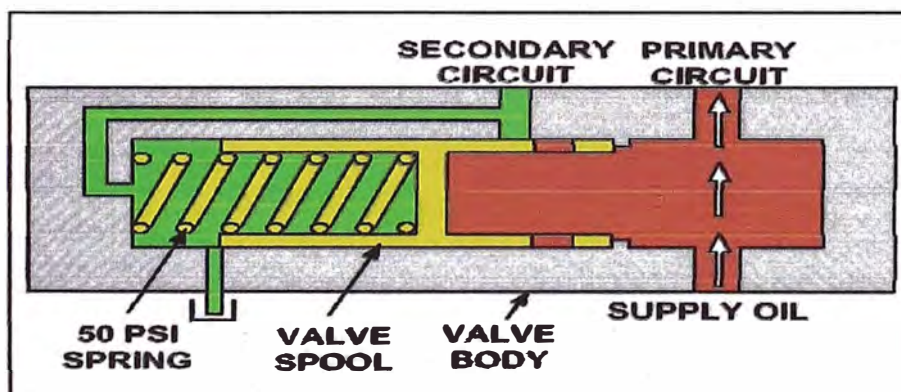


Figura IV.45 Funcionamiento de la Válvula de diferencia de presión

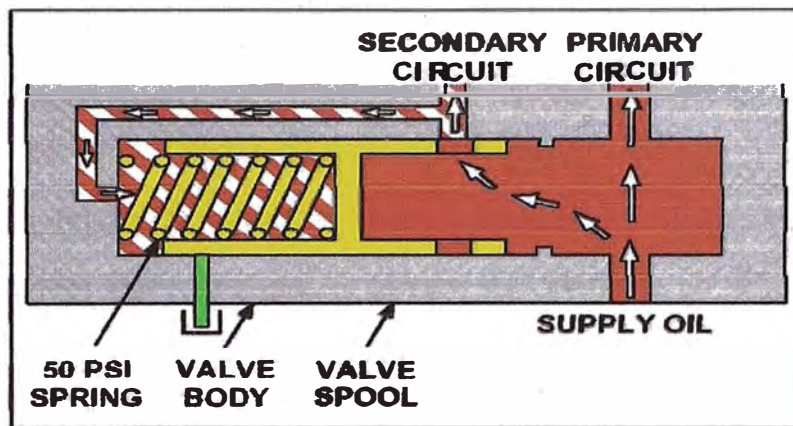


Figura IV.46 Funcionamiento de la Válvula de presión circuito abierto

4.8.6 VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL O SELECTORAS

Las válvulas de control direccional o selectoras son usadas para dirigir el aceite a circuitos separados de un sistema hidráulico (hacia un actuador por ejemplo). La máxima capacidad de flujo y la caída de presión a través de una válvula son las primeras consideraciones. Las válvulas de control direccional pueden interactuar con controles manuales, hidráulicos, neumáticos y electrónicos. Esos factores son mayormente determinados por el diseño inicial del sistema.

4.8.6.1 VÁLVULAS SELECTORAS

Controlan el funcionamiento de los actuadores y demás componentes de un sistema hidráulico, permitiendo que la válvula determine la dirección y cantidad de flujo de aceite.

La mayor parte de las válvulas selectoras tienen un carrete que se desliza hacia adelante y hacia atrás en la perforación de la válvula. El carrete tiene amplios diámetros, llamados resaltos, que pueden

bloquear o abrir entradas y salidas. Algunos carretes tienen ranuras de lubricación alrededor de los resaltos gruesos en uno de los extremos del carrete cuya finalidad es atrapar el aceite. Esto hace que el carrete flote en una capa delgada de aceite, manteniéndolo centrado y más fácil de mover. Por lo general, el carrete está centrado en la válvula mediante resortes y puede ser movido manualmente o eléctricamente mediante solenoides. Los carretes de gran tamaño difíciles de operar manualmente o situados en ubicaciones distantes, pueden ser accionados hidráulicamente. Las válvulas selectoras que controlan la operación de otras válvulas son llamadas válvulas piloto.

Las válvulas selectoras generalmente tienen tres o más posiciones. Cada posición cambia el sentido del flujo hacia el actuador. Una **válvula de centro abierto** permite el paso del aceite de suministro de retorno al tanque a través de su posición neutral. Una **válvula de centro cerrado** bloquea el flujo proveniente de la bomba.

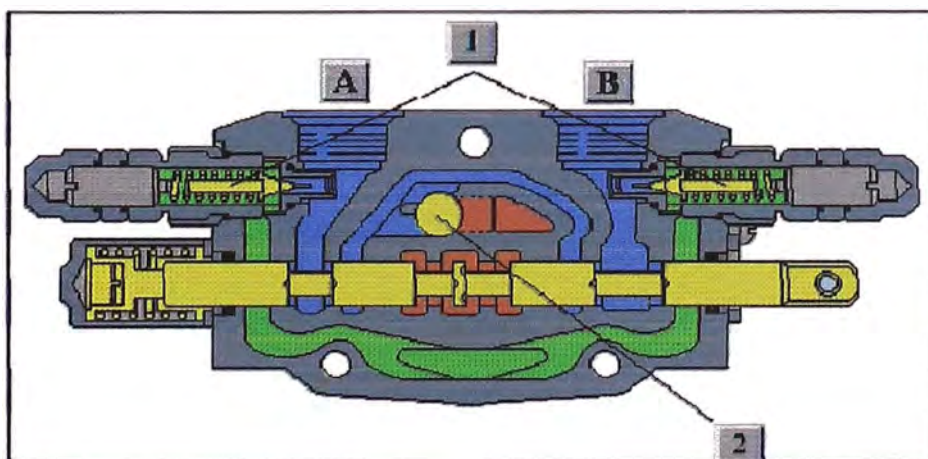


Figura IV.47 Detalle de válvula selectora

Carrete de la válvula

El carrete de la válvula consiste en canales y resaltos. Los resaltos del carrete bloquean el flujo del aceite a través del cuerpo de la válvula. Los canales del carrete permiten el flujo del aceite alrededor del carrete y a través del cuerpo de la válvula. La posición del carrete cuando no está activa se llama posición "normal" o neutral.

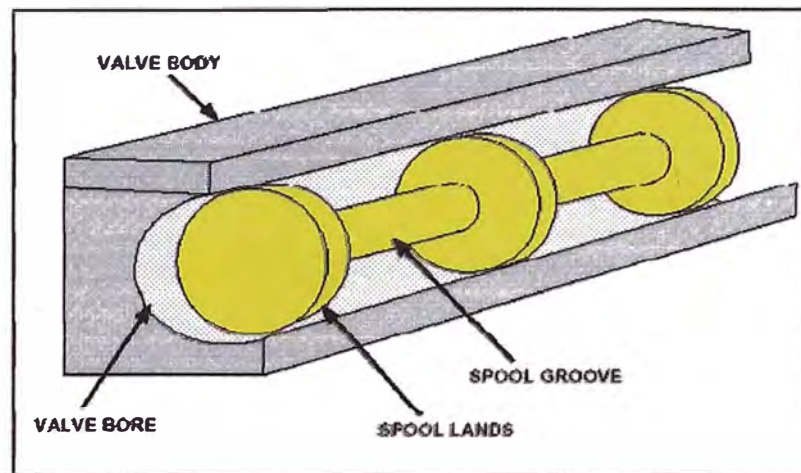


Figura IV. 48 Alojamiento de carrete de válvula

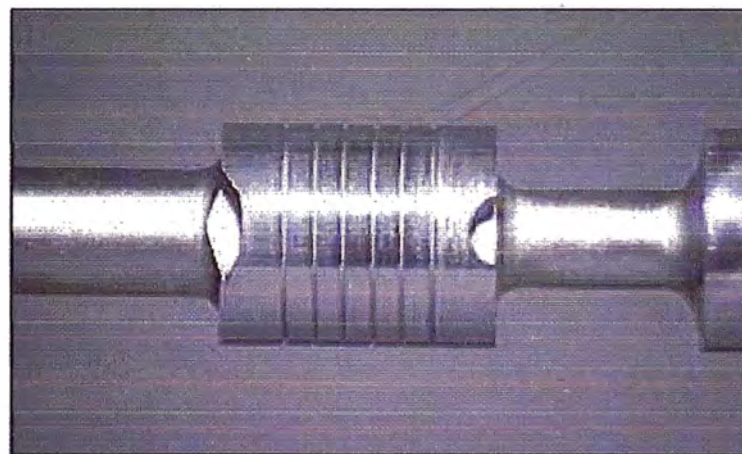


Figura IV. 49 Detalle de carrete de válvula

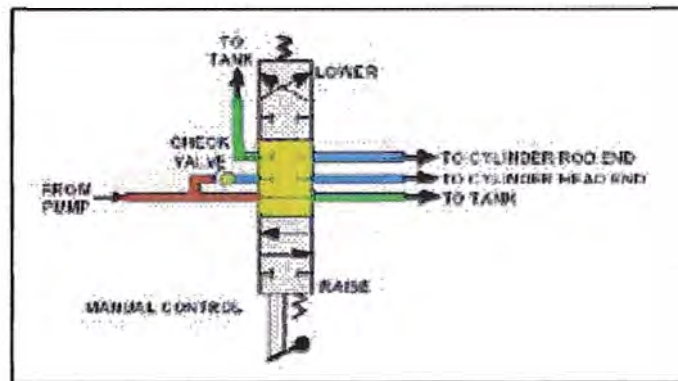


Figura IV. 50 Válvula controlada manualmente de tres posiciones, seis vías y centro abierto

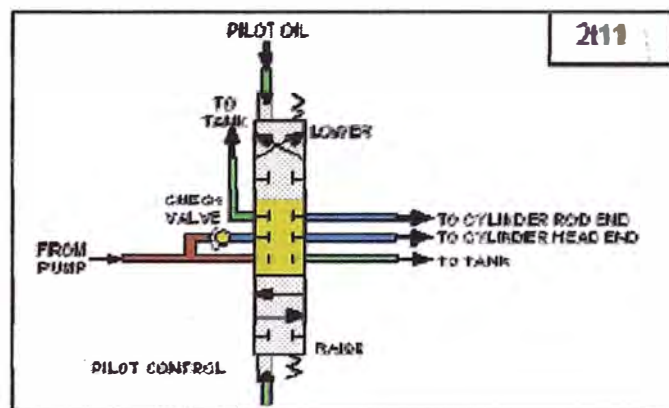


Figura IV. 51 Válvula controlada por línea piloto de tres posiciones, seis vías y centro cerrado

4.8.6.2 VÁLVULAS ROTATORIAS

Las válvulas rotatorias consisten de un vástago redondo con pasajes o canales. Los canales en el vástago se conectan con los puertos en el cuerpo de la válvula. En vez de cambiar de posición de derecha a izquierda, las válvulas rotan.

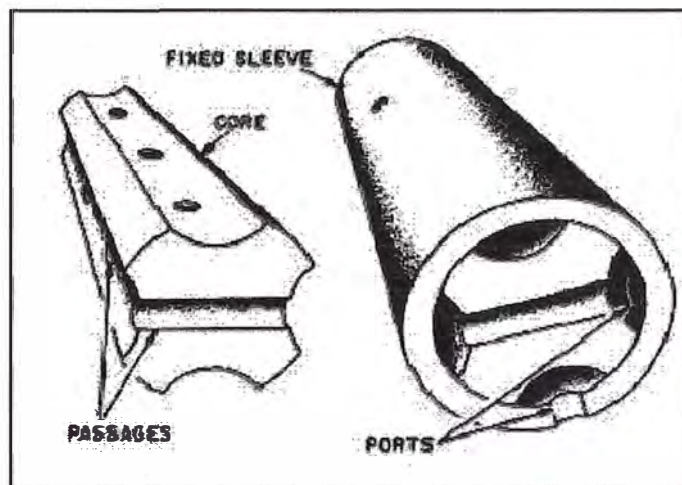


Figura IV. 52 Detalle de válvula rotatoria

En el diagrama de la izquierda, la válvula conecta la bomba al extremo de vástago del cilindro y el aceite del extremo de cabeza se conecta con tanque. Cuando la válvula rota 90°, la bomba es conectada al extremo de cabeza y el aceite en el extremo de vástago se conecta con el tanque.

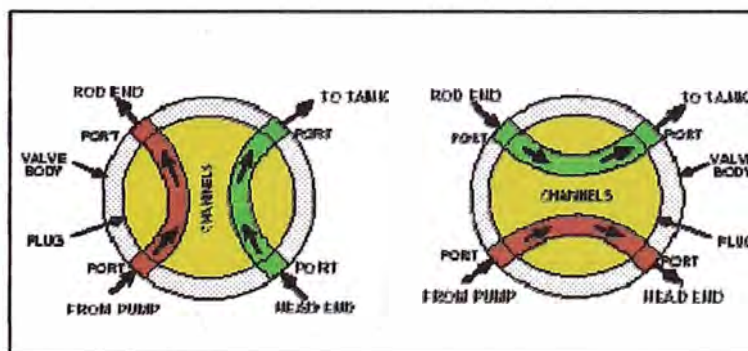


Figura IV. 53 Funcionamiento de válvula rotatoria

4.8.6.3 VÁLVULA CHECK

El diseño más común consiste en un pistón o una bola y un resorte. La válvula de retención se utiliza a menudo en combinación con otras válvulas. La presión ejercida del lado anterior a la válvula es suficiente para vencer la

fuerza del resorte, empujando el pistón del asiento y permitiendo que pase flujo por la válvula. El fluido en sentido opuesto permite que la presión trabaje con el resorte, cerrando la válvula y bloqueando el flujo. Es posible que las válvulas de retención sean componentes independientes o pueden formar parte de una caja común con otras válvulas.

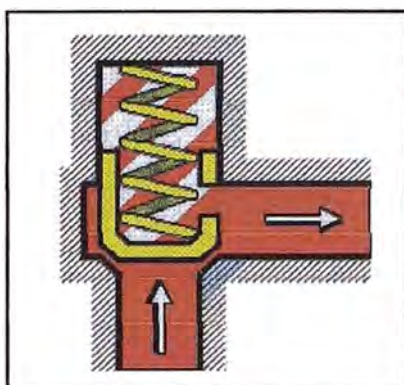


Figura IV. 54 Diagrama válvula cerrada

VÁLVULA CHECK PILOTADA

La válvula check pilotada difiere de la válvula check simple en que la pilotada permite el flujo en sentido inverso.

Flujo directo

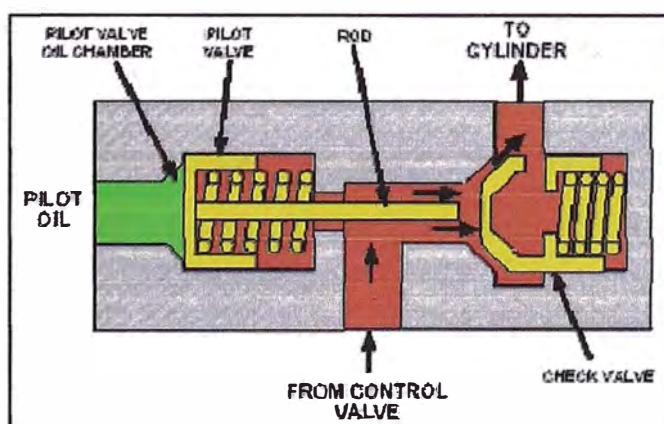


Figura IV. 55 Válvula check pilotada de flujo directo

Flujo bloqueado

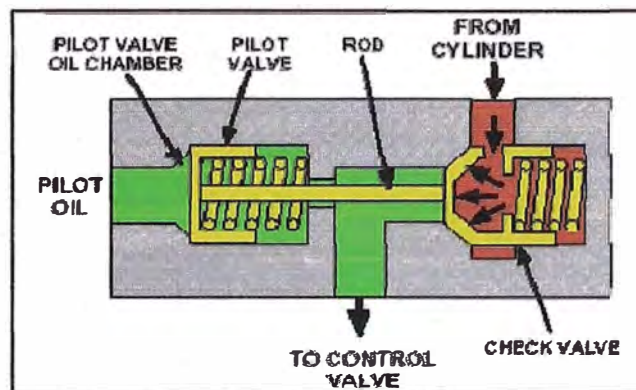


Figura IV. 56 Válvula check pilotada con flujo bloqueado

Flujo inverso

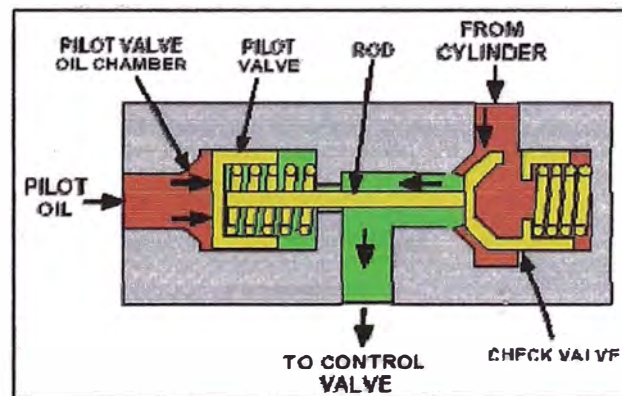


Figura IV. 57 Válvula check pilotada con flujo inverso

Las figuras A y B representan válvulas check simple. La figura C representa la válvula shuttle (resolver). La figura D representa una válvula check pilotada.

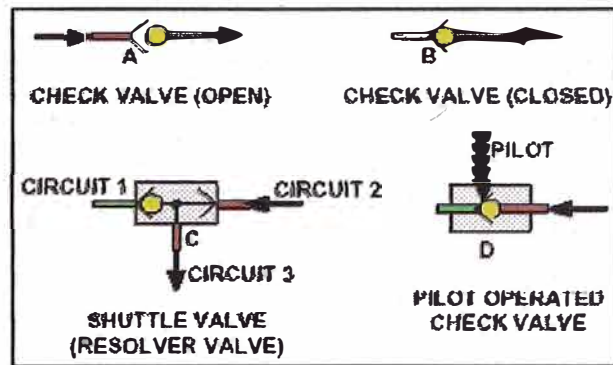


Figura IV. 58 Tipos de válvula check

4.8.6.4 VÁLVULAS COMPENSADORA (Make - up)

Una válvula compensadora es un tipo de válvula de retención que permite que el aceite de retorno fluya directamente hacia las tuberías del actuador cada vez que la presión de retorno sea mayor que la presión de entrada al actuador. Esto evita que los cilindros de las hojas o los cucharones se drenen con mayor rapidez de la que puede desarrollar la bomba para llenarlos.

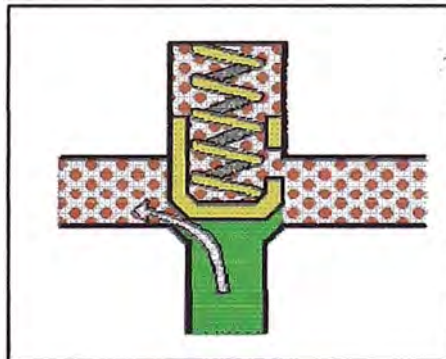


Figura IV. 59 Válvula compensadora cerrada

La válvula compensadora está compuesta por una válvula de retención y un resorte ligero. Cuando la presión de aceite disminuye

aproximadamente 2 PSI por debajo de la presión de la tubería de retorno, la válvula se abre, dejando pasar el aceite hacia las tuberías.

Válvulas de control activadas por solenoide

En un solenoide, el campo electromagnético mueve una armadura, la cual mueve un pin de presión, éste a su vez, mueve el carrete. Los dos tipos más populares de actuadores son el solenoide seco (air gap solenoid), y el solenoide húmedo (wet solenoid).

Solenoide Seco

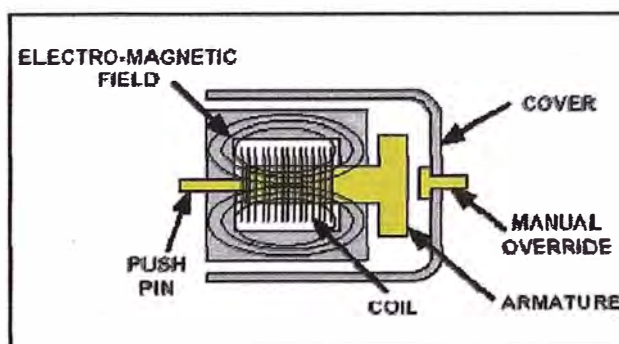


Figura IV. 60 Accionamiento eléctrico solenoide seco

Solenoide Húmedo

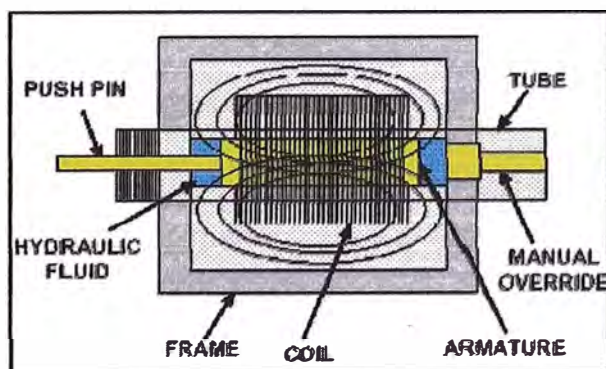


Figura IV. 61 Accionamiento eléctrico solenoide húmedo

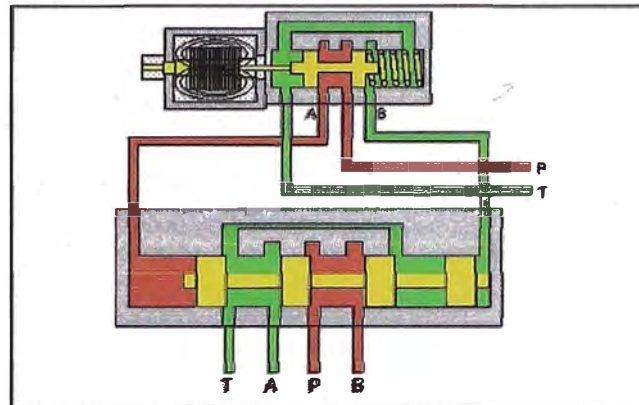


Figura IV. 62 Válvula de control direccional de cuatro vías dos posiciones compensada por resorte y controlado por solenoide

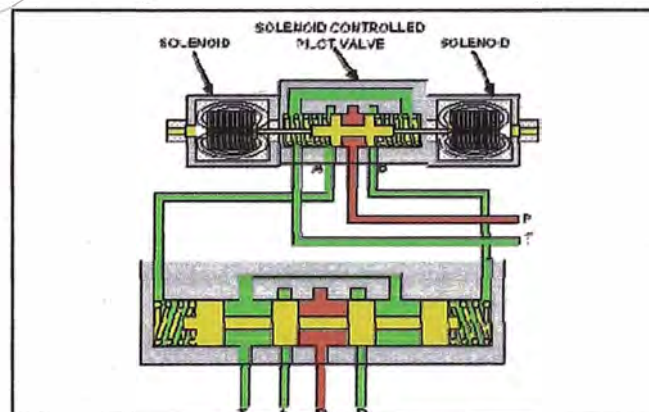


Figura IV. 63 Válvula de control direccional de cuatro vías tres posiciones pilotado y controlado por solenoide

Modos de falla en los solenoides

Muchas fallas de los solenoides ocurren cuando las válvulas están trabadas. El carrete de la válvula solenoide trabado evita que la armadura cierre apropiadamente. La causa más común de la traba del carrete de las válvulas es la contaminación. Contaminantes tales como sedimentos, partículas de metal y otras partículas podrían alojarse entre el carrete y el agujero causando que el carrete se trabe.

También el aceite oxidado o sobrecalentado puede ocasionar taponamientos de la luz entre el carrete y las paredes del agujero causando que el carrete se pegue a la válvula por aparición de barnices. La mayoría de estos contaminantes pueden prevenirse con la instalación de un filtro.

El barniz depositado puede ser removido con algún disolvente tal como thinner.

El filtro y el aceite adecuados deben ser cambiados en los intervalos correctos para evitar la mayoría de estos problemas.

Cuando la válvula está trabada y el solenoide energizado, el solenoide recibe un alto flujo constante de corriente que genera excesivo calentamiento. El solenoide no está diseñado para disipar el excesivo calentamiento y el bobinado se puede quemar. Problemas de sobrecalentamiento frecuentemente ocurren durante periodos de alta temperatura ambiental o bajos voltajes del sistema. Problemas de fallas de solenoides debido a altas temperaturas ambientales podrían ser controlados incrementando el flujo de aire a través del solenoide. La temperatura del aceite hidráulico debe ser disminuida para permitir mayor transferencia de calor desde el solenoide al sistema hidráulico. Algunas veces, un diseño distinto de válvula podría ser requerido cuando se opera durante condiciones de clima muy caliente. Algunos arreglos deben ser hechos para permitir que el sistema opere a una menor temperatura.

Cuando el voltaje de la bobina es muy bajo, el campo electromagnético no es lo suficientemente fuerte para atraer la armadura. Tal como ocurre en el carrete pegado, la corriente continúa fluyendo a través de la bobina generando calor excesivo. Otros factores que también pueden afectar la adecuada operación y acortar el periodo de vida del solenoide son: el ciclo

repetitivo del solenoide, corto circuitos u operación con corriente no adecuada (frecuencia o voltaje incorrectos).

4.8.7 VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO

El Control de Flujo consiste en controlar el volumen del flujo de aceite dentro o fuera de un circuito. El control del flujo en un sistema hidráulico puede ser logrado de varias maneras. La forma más común es la instalación de un orificio. Cuando un orificio es instalado, el orificio presenta una alta restricción mayor a la restricción normal al flujo de la bomba. La mayor resistencia incrementa la presión del aceite. El incremento en la presión de aceite causa que algo del aceite tome otro camino. El camino podría ser a través de otro circuito o podría ir por una válvula de alivio.

Orificio

Un orificio es una pequeña apertura en el camino del flujo del aceite. El flujo a través del orificio es afectado por muchos factores, siendo 3 los más comunes:

1. La temperatura del aceite
2. El tamaño del orificio
3. La diferencia de presiones a través del orificio

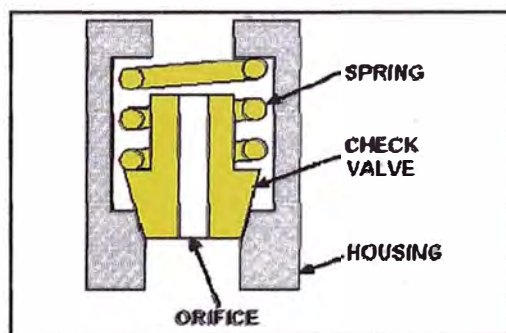


Figura IV. 64 Válvula Check con un orificio fijo

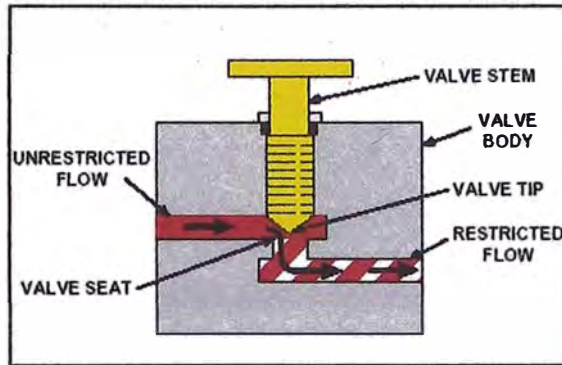


Figura IV. 65 Válvula check Orificio Variable

CAPITULO V

DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PLUS

Para llevar a cabo la implementación de RCM en una empresa, se debe decidir a qué grupo de activos o a que activo se va a aplicar la metodología, o caso contrario establecer un sistema de criticidad de equipos mina. Para el caso de la mina La Virgen se hizo un Análisis de Mejorabilidad.

Por los razones anteriormente explicados fue necesario desarrollar el análisis RCM+ de manera piloto con el fin de demostrar la utilidad del método y el impacto en el negocio bajo las condiciones de operaciones y facilidades de mina, este análisis consistió en determinar las actividades recomendadas y adecuadas para eliminar los problemas del activo en análisis para nuestro caso las excavadoras 345CL, es decir definir planes, políticas y técnicas de mejora generando las soluciones de los problemas que afectan de manera directa a la actividad de mantenimiento y en consecuencia a la producción de extracción de oro.

PREMISAS:

Para el desarrollo de la etapa de mejoramiento y control se parte de los siguientes hechos:

- Se determina que el personal seleccionado es el grupo humano con más experiencia y conocimiento en la organización.

- Este personal se compromete a entregar la información lo más confiable posible.
- Dicha información es la base de datos de análisis.
- Culminado el proyecto en desarrollo se lograra controlar los procesos y se obtendrán los indicadores de mantenimiento los cuales demostraran que el plan piloto puede ser replicado a la nuevo grupo de carguío de palas, bajo cierta condiciones.

5.1 Planificación

Como en todo proyecto es indispensable la planificación del proyecto, siendo factor clave de éxito tan igual a la evaluación del proyecto. A continuación se detalla los puntos en la etapa de planificación.

5.1.1 Indicadores antes de iniciar el RCM +

Es necesario mencionar los indicadores de mantenimiento de clase mundial que eran usados en la Unidad La Virgen y que valores mostraban antes del RCM, en nuestro caso los valores de estos indicadores eran:

TABLA V. 1 Indicadores globales antes del RCM

MES	EQUIPO	MTBF			MTTR			DISPONIBILIDAD		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
ENERO	345 CL	18.51	27.99	22.40	4.37	1.73	4.88	89.46%	96.97%	89.31%
FEBRERO	345 CL	21.50	17.37	21.24	6.69	5.50	6.32	84.57%	85.28%	84.48%
MARZO	345 CL	21.07	20.99	19.28	5.59	5.13	6.01	84.22%	85.87%	81.82%
ABRIL	345 CL	16.20	16.10	18.27	7.08	6.57	5.26	76.39%	78.57%	82.10%
MAYO	345 CL	14.78	12.44	22.33	9.81	9.36	7.09	67.85%	66.77%	80.14%
JUNIO	345 CL	17.63	6.31	23.93	6.18	10.79	6.36	78.54%	43.80%	81.90%
JULIO	345 CL	27.93	23.88		5.31	3.96		87.14%	89.37%	
AGOSTO	345 CL	30.04	23.79		3.18	3.34		92.73%	91.26%	
SEPTIEMBRE	345 CL	7.66	7.43		13.55	9.33		43.56%	50.77%	
OCTUBRE	345 CL	27.02	14.73		1.51	2.30		96.54%	92.65%	
NOVIEMBRE	345 CL	31.94	15.62		2.25	2.39		95.15%	90.70%	
DICIEMBRE	345 CL	25.74	12.52		1.71	1.83		95.86%	92.25%	
		21.67	16.60	21.24	5.60	5.18	5.99	82.67%	80.35%	83.29%

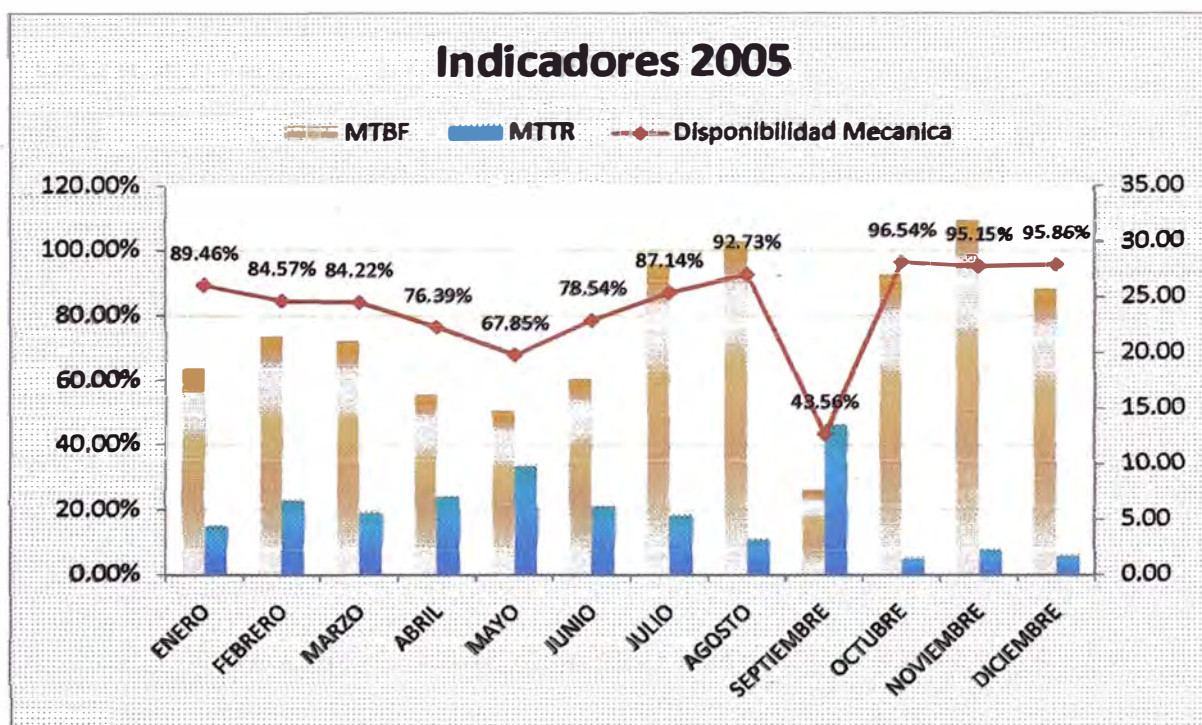


Figura V. 1 Indicadores globales antes del RCM 2005

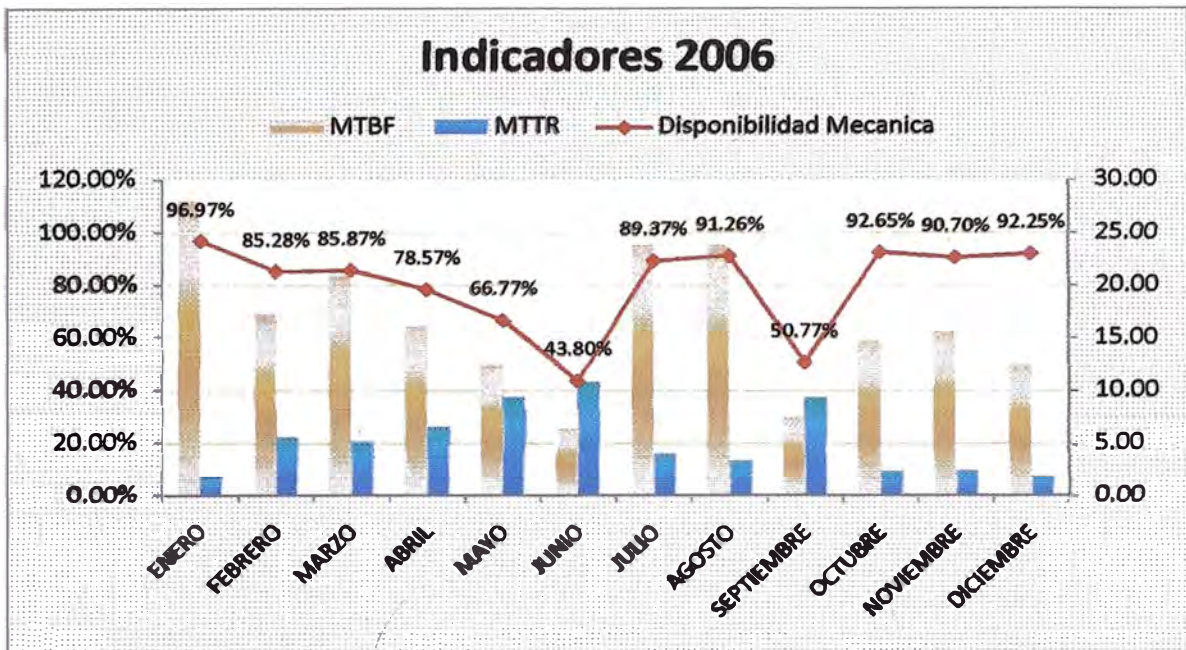


Figura V. 2 Indicadores globales antes del RCM 2006

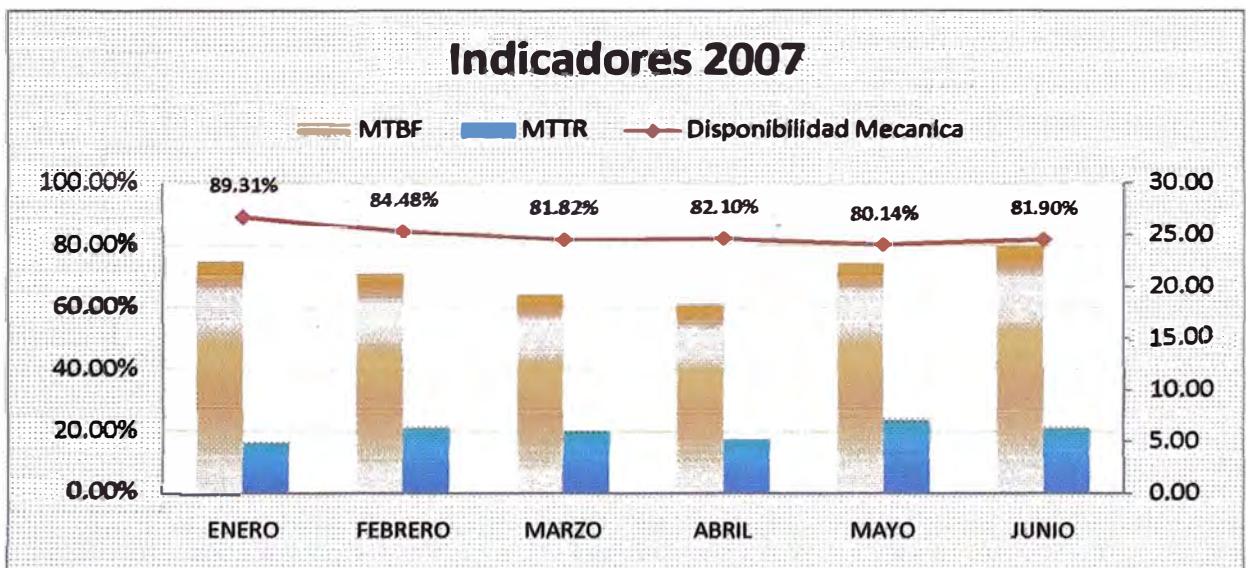


Figura V. 3 Indicadores globales antes del RCM – Junio 2007

A continuación se muestran los valores de confiabilidad tomando en cuenta la aproximación a tasa de falla constante y a un período de análisis de 24 horas.

$$R(t) = e^{(-24/MTBF)}$$

Tabla V. 2 Valores de confiabilidad antes del RCM

MES	EQUIPO	MTBF			CONFIABILIDAD		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
ENERO	345 CL	18.51	27.99	22.40	27.35%	42.43%	34.25%
FEBRERO	345 CL	21.50	17.37	21.24	32.75%	25.11%	32.31%
MARZO	345 CL	21.07	20.99	19.28	32.00%	31.88%	28.80%
ABRIL	345 CL	16.20	16.10	18.27	22.73%	22.52%	26.89%
MAYO	345 CL	14.78	12.44	22.33	19.72%	14.53%	34.13%
JUNIO	345 CL	17.63	6.31	23.93	25.64%	2.23%	36.68%
JULIO	345 CL	27.93	23.88		42.34%	36.60%	
AGOSTO	345 CL	30.04	23.79		44.98%	36.46%	
SEPTIEMBRE	345 CL	7.66	7.43		4.36%	3.96%	
OCTUBRE	345 CL	27.02	14.73		41.14%	19.61%	
NOVIEMBRE	345 CL	31.94	15.62		47.17%	21.52%	
DICIEMBRE	345 CL	25.74	12.52		39.35%	14.70%	
		21.67	16.60	21.24	31.63%	22.63%	32.18%

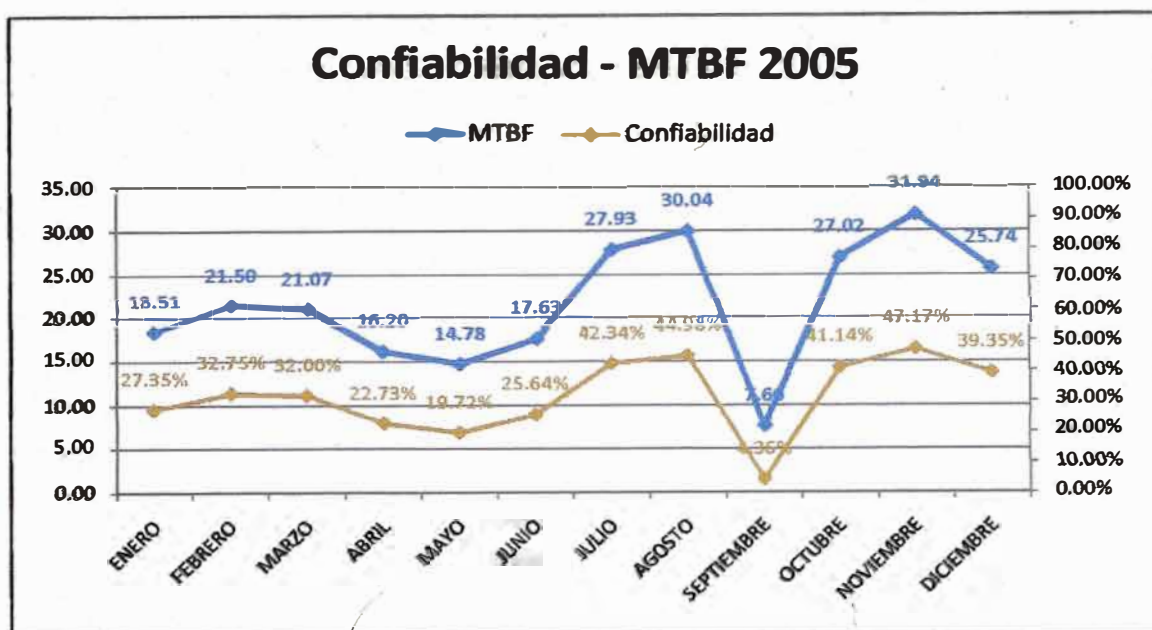


Figura V. 4 Confiabilidad antes del RCM 2005

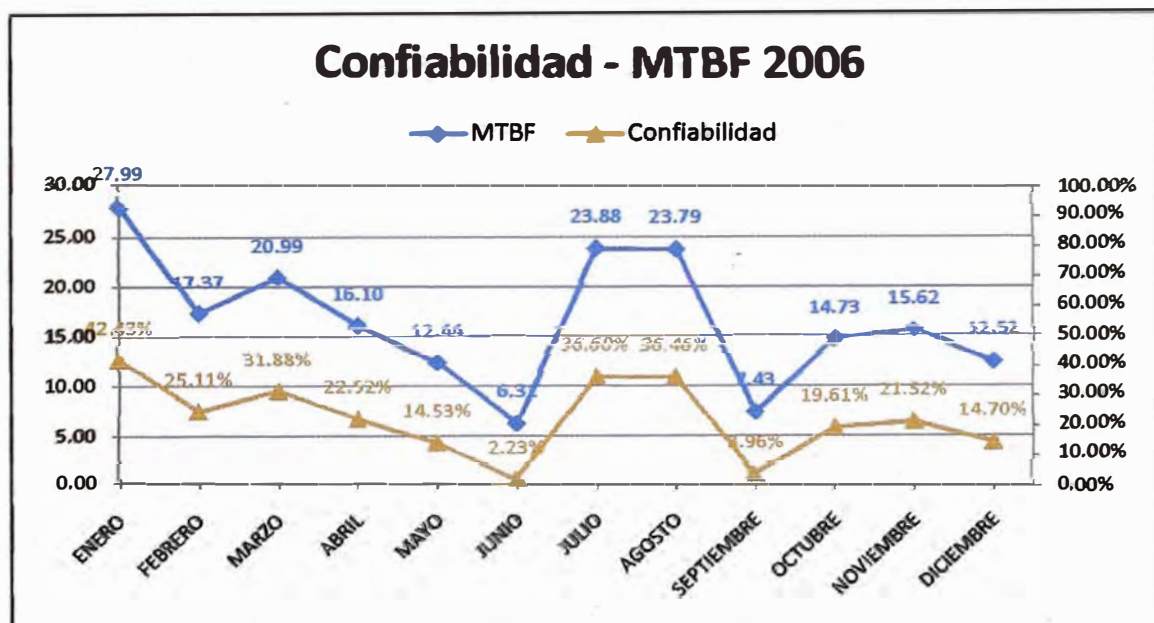


Figura V. 5 Confiabilidad antes del RCM 2006

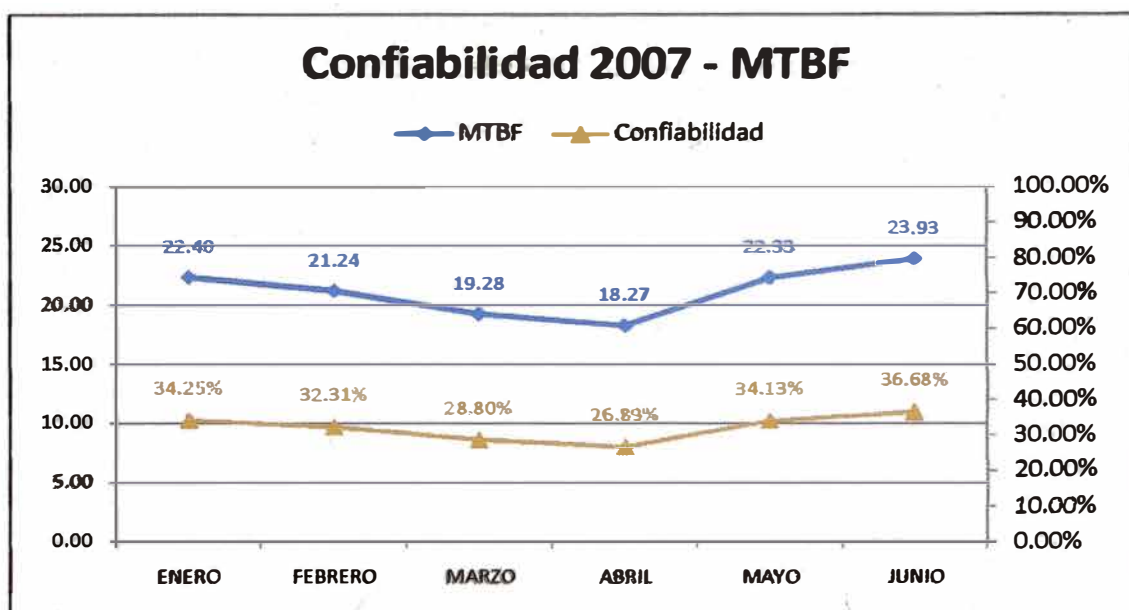


Figura V. 6 Confiabilidad antes del RCM - Junio 2007

5.1.2 Capacitación en RCM +

Fue necesario establecer la programación de capacitación para el grupo de RCM en los siguientes puntos.

- Definiciones Básicas
- Confiabilidad Operacional
- Funciones y fallas funcionales
- Análisis de Mejorabilidad
- Análisis de Modos, efectos de fallas y criticidad
- Evaluación de consecuencias de falla
- Estrategias de Mantenimiento
- Beneficios del RCM

5.1.3 Planificación de los grupos de Trabajo

Para una mejor organización de los recursos humanos y una buena distribución de las responsabilidades se estableció el grupo de Análisis de RCM.

Para ello se uso un grupo típico de revisión

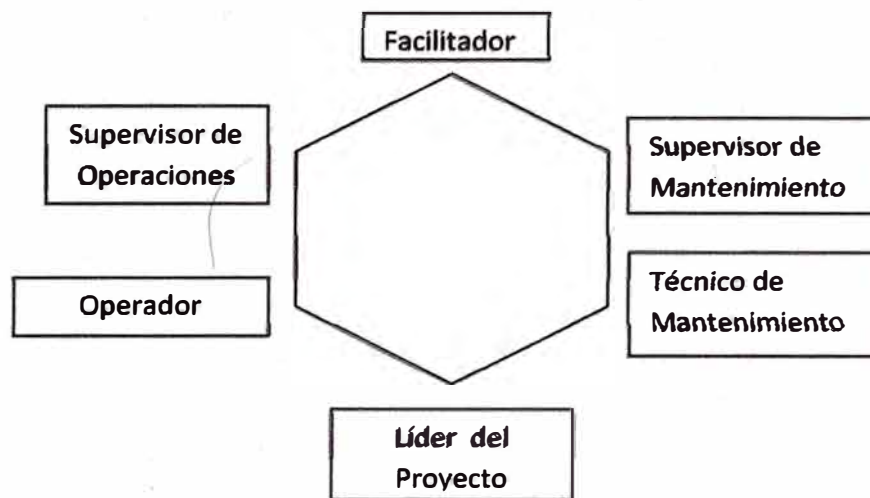


Figura V. 7 Grupos de trabajo RCM

5.1.4 EDT

Para una mejor planificación de la implementación de RCM al activo en análisis se realizó el siguiente EDT.

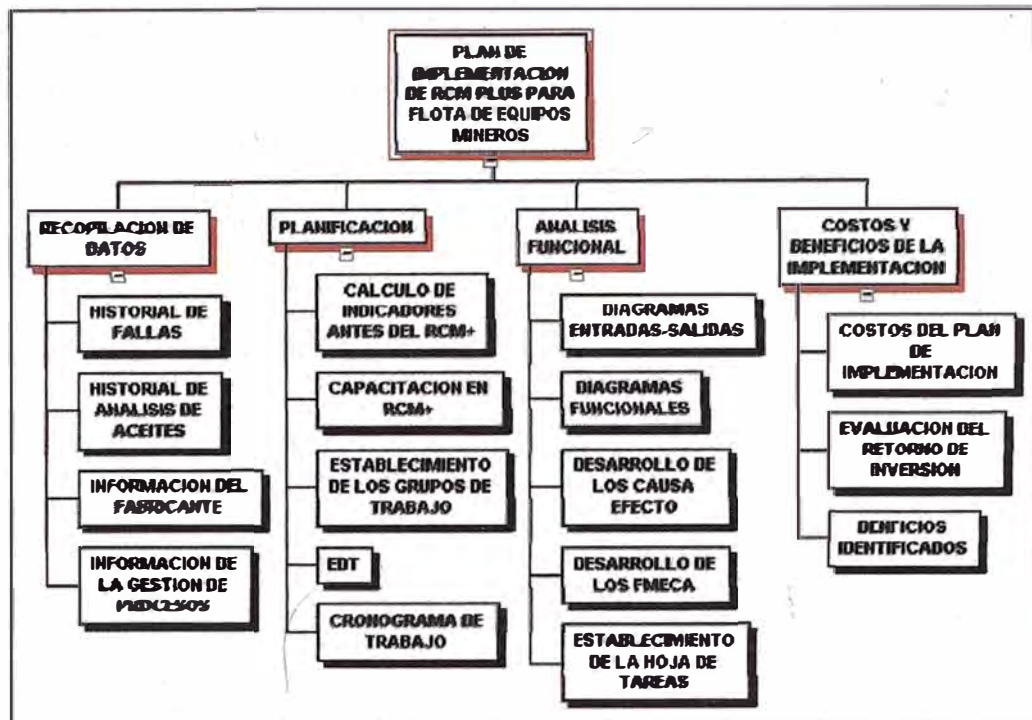


Figura V. 8 Esquema EDT

5.2 Análisis de Mejorabilidad

El análisis de mejorabilidad evalúa el riesgo asociado a cada sistema de manera muy sencilla, cuantifica el impacto en la producción (nivel de producción y tiempo para reparar) costos de reparación, seguridad e impacto ambiental.

Este análisis cuantitativo, consideran los costos para la reparación, el impacto económico que ocasionan los problemas de los procesos que conforman la mina. Haciendo uso del diagrama de Pareto analizaremos el sistema con mas perdidas, siendo el sistema de carguío, y dentro de este sistema los elementos que lo conforman, determinándose que las excavadoras son los equipos que más daños económicos causan a toda la producción, asimismo las excavadoras son equipos conformados con muchos sistemas y es necesario determinar cuál de ellos origina

mas perdida por la poca confiabilidad del sistema en las condiciones de operación propias de la mina en los años 2006 y 2007. Ya que el impacto tiene como factores la frecuencia de falla y la duración para devolverle su operatividad al equipo posterior a la falla.

5.2.1 Resultados del Análisis de Mejorabilidad

A continuación se muestra los diagramas de Pareto en tres niveles:

El primero a nivel Mina: Para los distintos procesos que conformaban la operación minera desde los fundamentales como la perforación hasta el mantenimiento de vías durante los años 2006 y 2007.

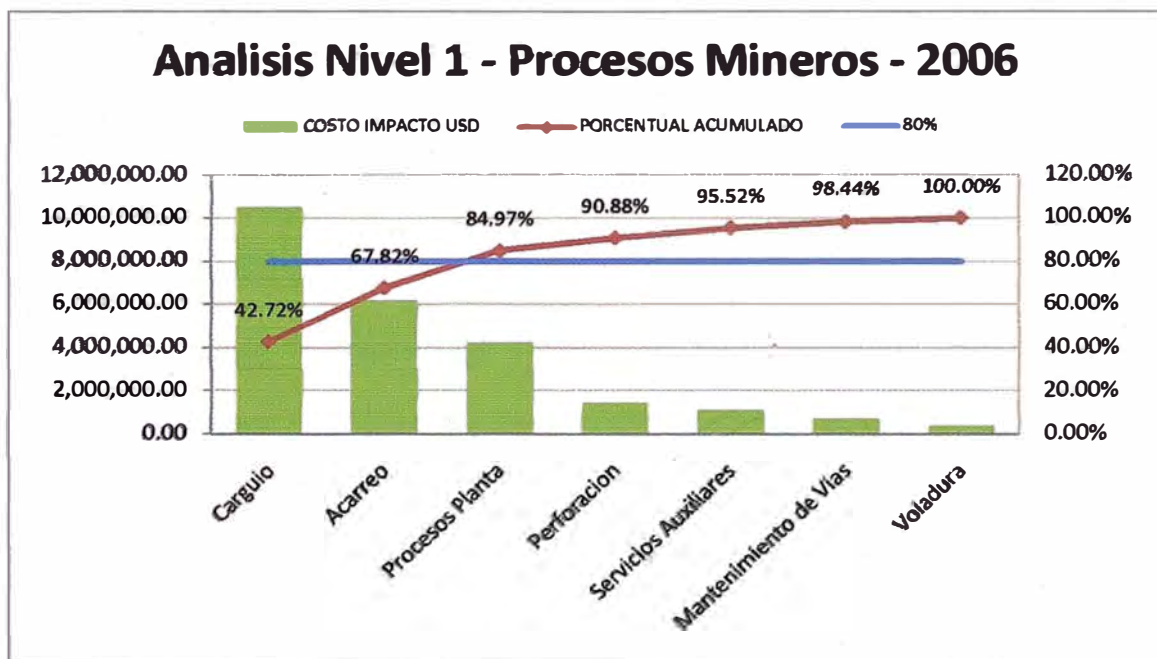


Figura V. 9 Pareto de procesos mineros 2006

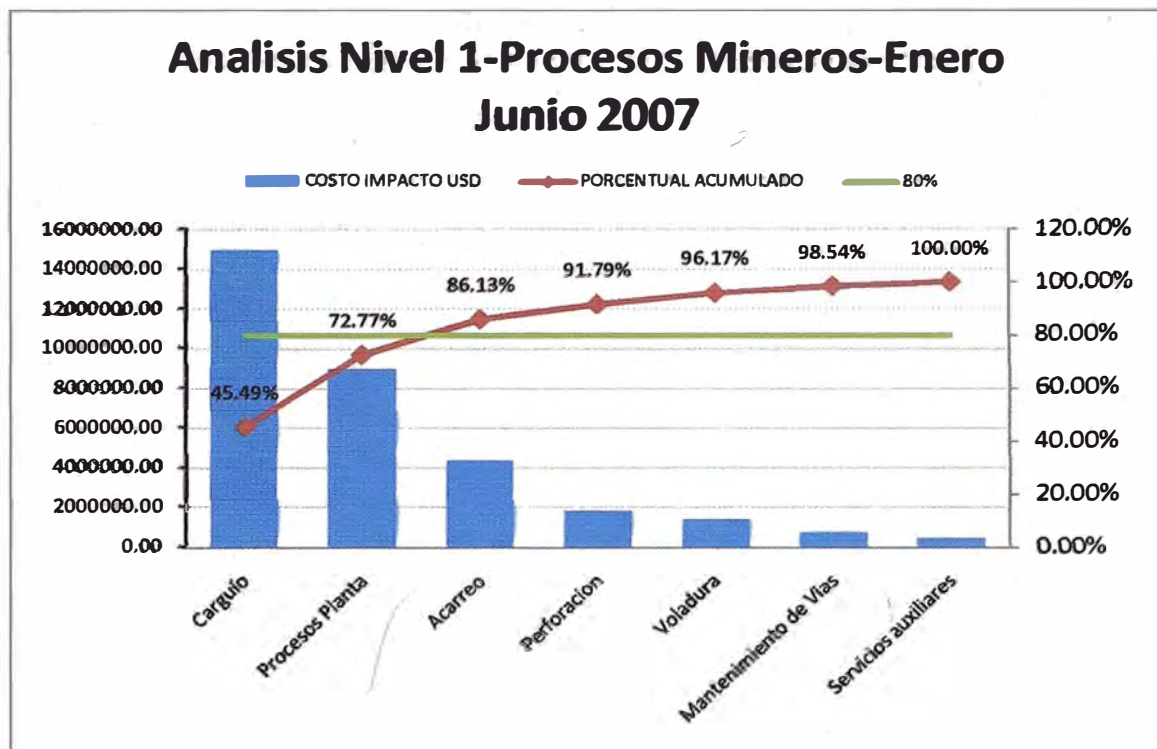


Figura V. 10 Pareto de procesos mineros 2007

El segundo nivel es a nivel de elementos o equipos que forman parte del proceso de Carguío, el cual está constituido de equipos como Excavadoras, Cargadores Frontales, los cuales han sido ordenados jerárquicamente según el nivel de impacto económico que han tenido en los años 2006 y 2007 para el proceso de Carguío.

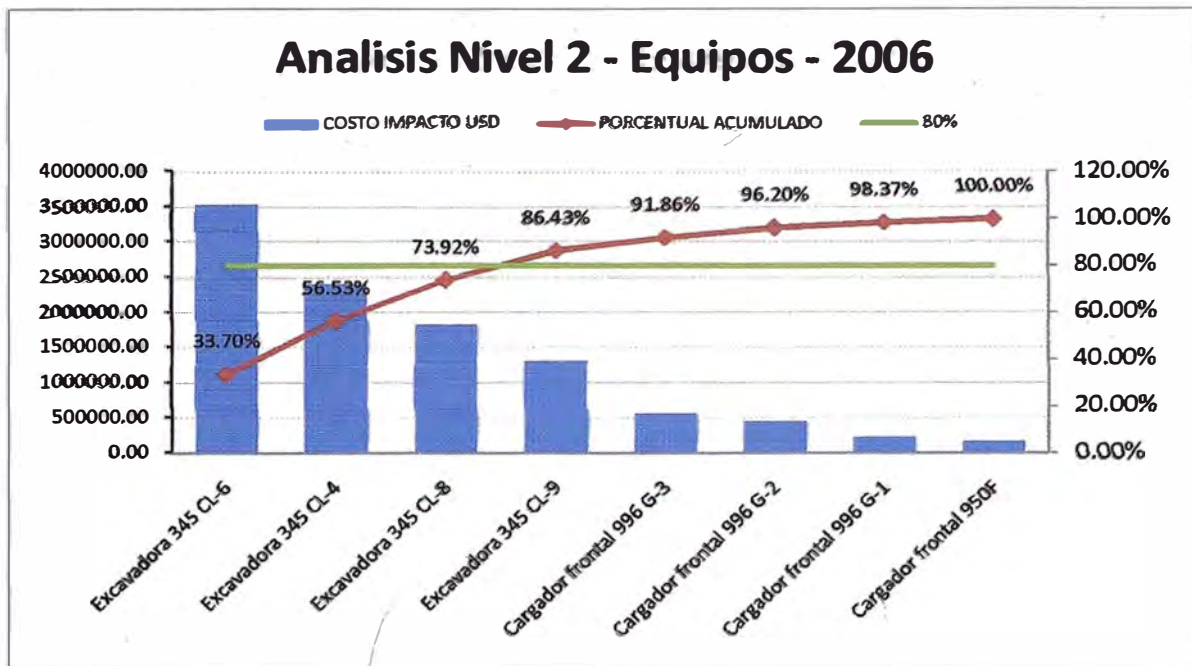


Figura V. 11 Pareto de equipos mina 2006

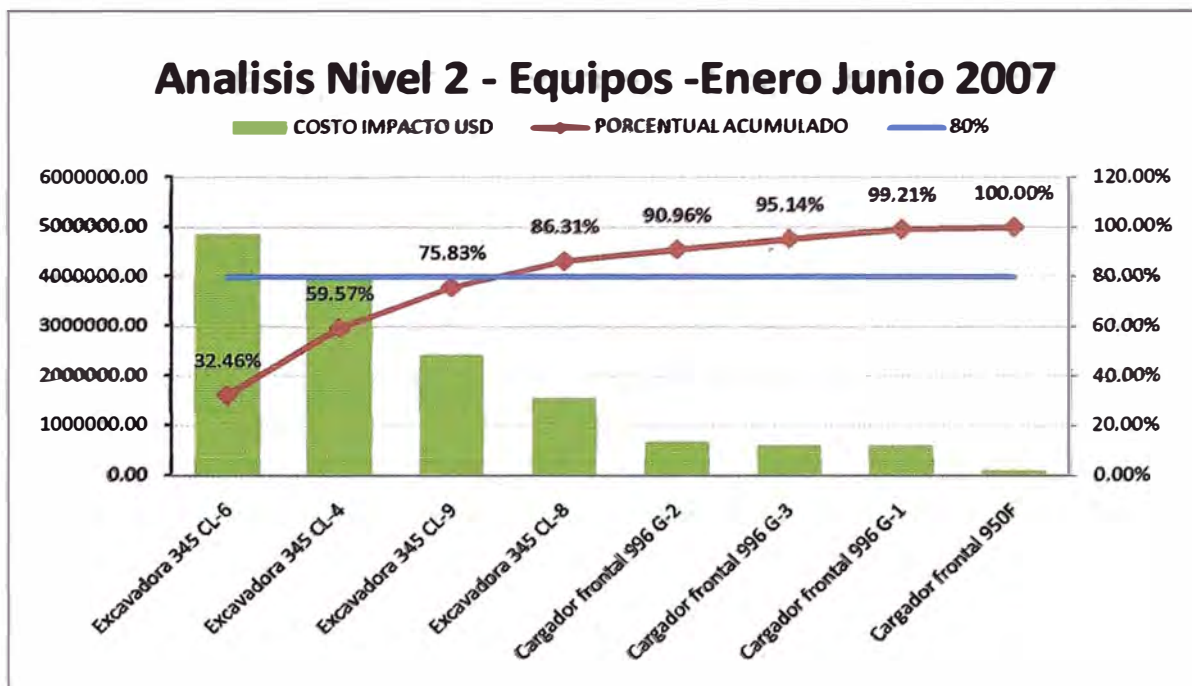


Figura V. 12 Pareto de equipos mina 2007

Del segundo nivel podemos decir que las Excavadoras son las que más impacto económico han ocasionado sobre toda el proceso productivo. Siendo las excavadora 345CL-6 nuestro objeto de estudio por ser la que ocasiono mas perdidas y por tratarse de un plan piloto.

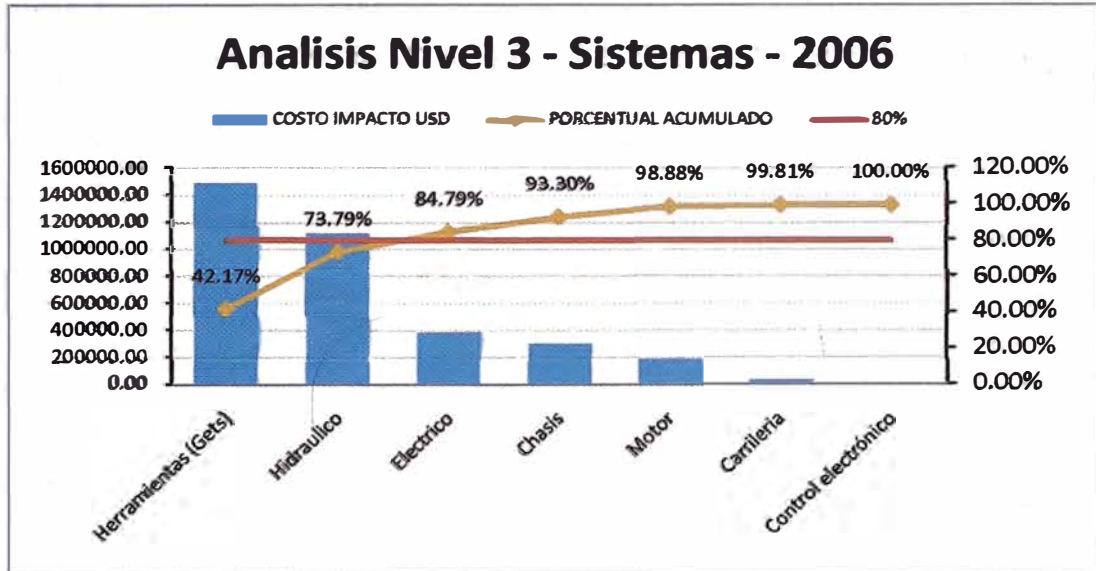


Figura V. 13 Pareto de sistemas de la excavadora 2006

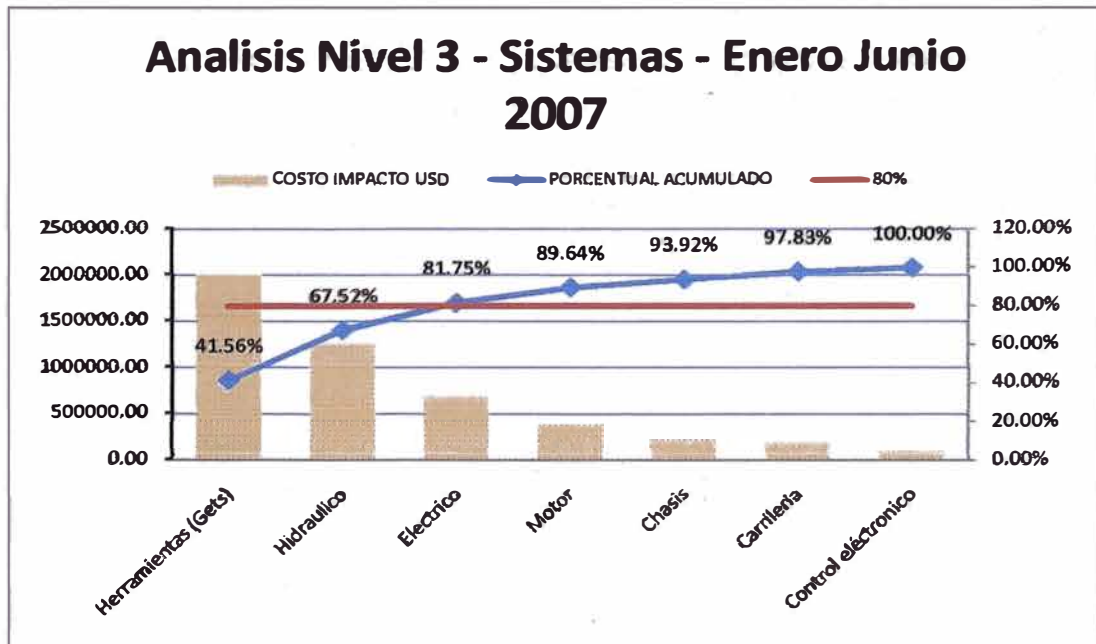


Figura V. 14 Pareto de sistemas de la excavadora 2007

A un tercer nivel tenemos el análisis de mejorabilidad para la Excavadora 345CL -6 que es la unidad dentro del proceso que mas perdidas ha ocasionado, y cuyo impacto finalmente se ve reflejado en los altos costos que tiene el carguío como proceso minero. Estas pérdidas señaladas no solo obedecen a los costos por mantenimiento de este equipo sino a las paradas intempestivas que se han registrado en esta unidad y que ocasiona pérdidas en la producción que son mucho más trascendentales para la empresa. Esta excavadora está constituida a la vez por sistemas, y a través del diagrama de Pareto podemos reflejar que tanto el sistema de hidráulico como el sistema de Herramientas, son los que más impacto han ocasionado. Al hallar el equipo que más problemas ha presentado hemos hallado una oportunidad de mejora.

5.2.2 Conclusión de Análisis de Mejorabilidad - RCM+

De acuerdo a los análisis realizados se decidió iniciar la implementación de RCM+ de manera piloto tomando como objeto de análisis en el sistema hidráulico de implementos de la excavadora 345CL-6 definido como mejorable con la finalidad de replicar la metodología de solución a las demás excavadoras dentro del proceso de Carguío.

5.3 Análisis Funcional

Realizaremos los análisis funcionales de la mina, luego el de las excavadoras 345CL y finalmente el análisis sobre el sistema hidráulico para tener una visión holística de los procesos, determinando finalmente como objeto de estudio el sistema hidráulico de implementos de la excavadora 345CL.

5.3.1 Diagrama Entrada – Función- Salida

Consiste un diagrama que permite una fácil definición e interpretación del proceso o sistema señalando las condiciones normales de operación.

Tabla V. 3 Diagrama EFS – Unidad Minera La Virgen

ENTRADAS	FUNCION	SALIDA
Mineral: 127 kTn/ año Diámetro menor a 0.3 mt Ley: de 0.307 a 1.7 gr/Tn Agua: 0.25 m3/ hora Lubricantes (Aceites y grasas) Energía: 440 V - 4.16KV 988415.26 Kwh/mes (promedio) Reactivos: Cal (kg/mes) =232000 Cianuro de Sodio(kg/mes) = 34000 Anticrustante HISA 3214 (kg/mes)=1000 Acido Clorhídrico (kg/mes)=1250 Acido Sulfúrico (kg/mes)= 40 Hidróxido de Sodio-Soda (kg/mes)=1000 Nitrato de sodio (kg/mes)=5 Hipoclorito de sodio (kg/mes)= 250 Bórax (kg/mes)=7 Sílice (kg/mes)=3 Alcohol (lts/mes)= 30000 Petróleo (diesel) Fundentes (kg/mes)=20 Aceros: Planchas de desgaste Aire: 700Kpa (3500 a 4100 msnm) en promedio	1. Perforación y voladura 2. Cargado y Acarreo de mineral y desmonte 3. Transportar Mineral con cal 4. Acarrear mineral al PAD 5. Lixiviar 6. Bombear solución rica 7. Recuperar Clasificar (la solución) Desarear Filtrar metales (Oro, Plata y Hg) Retortar 8. Fundir y refinar	Buillon 77 % Au 23 % Ag 85 Konza/año oro 26 Konza/año plata Mercurio 150 onzas/mes aprox. Agua Desechos: Desmontes Escombros Chatarra

Tabla V. 4 Diagrama EFS- excavadora 345 CL

ENTRADAS	FUNCION	SALIDA
<p>1. Frente de trabajo Dureza de roca : 0 a 5 Diámetro menor a 0.5 mt Ley: de 0.307 a 1.7 gr/Tn</p> <p>2. Máxima altura de trabajo para los camiones Volvo FM-12: 4.5 mts</p> <p>3. Tipo de carguío A doble lado</p> <p>4. Área de trabajo con radio de 5 a 8 mts</p>	<p>1. Carguío de mineral o desmonte</p>	<p>1. Ciclo de carguío de 2.5 a 3.0 min Ciclo de carguío una pasada: 0.28</p> <p>2. Cada cucharada carga entre 2.9 a 3.2 ton Capacidad de cucharon: 2.5 m³</p> <p>3. Cargar cada camión con aprox. 18 Ton. Clima lluvioso 6 meses: 6 pasadas Clima seco 6 meses: 6 pasadas</p>

Tabla V. 5 Diagrama EFS- Sistema Hidráulico de Implementos

ENTRADAS	FUNCION	SALIDA
<p>1. Capacidad de Aceite 243 L 150 gal sistema hidráulico aprox.</p> <p>2. Temperatura del Aceite: 60 a 65 ºC</p> <p>3. Presión de aceite piloto 596 psi(4110 Kpa)</p> <p>4. Presión de implementos 5080 psi (35000 Kpa)</p> <p>5. RPM Motor 345 Hp (6 cilindros) 1800</p> <p>6 Fuerza de ataque Brazo (Stick): 230 KN</p>	<p>1. Transferir fuerza hidráulica de 5080 psi a fuerza mecánica para el carguío</p>	<p>1. Flujo de aceite hidráulico a 5080 psi</p> <p>2. Velocidad de cilindros Pluma (Boom): 8 - 9 seg Brazo (Stick): 9-10 seg</p> <p>3. Cargar 2.8 - 3 ton aprox. por pasada.</p>

5.3.2 Análisis funcional de la Mina

Dicho diagrama funcional es una representación secuencial donde se muestra las principales subprocesos o subsistemas dentro del proceso de extracción.

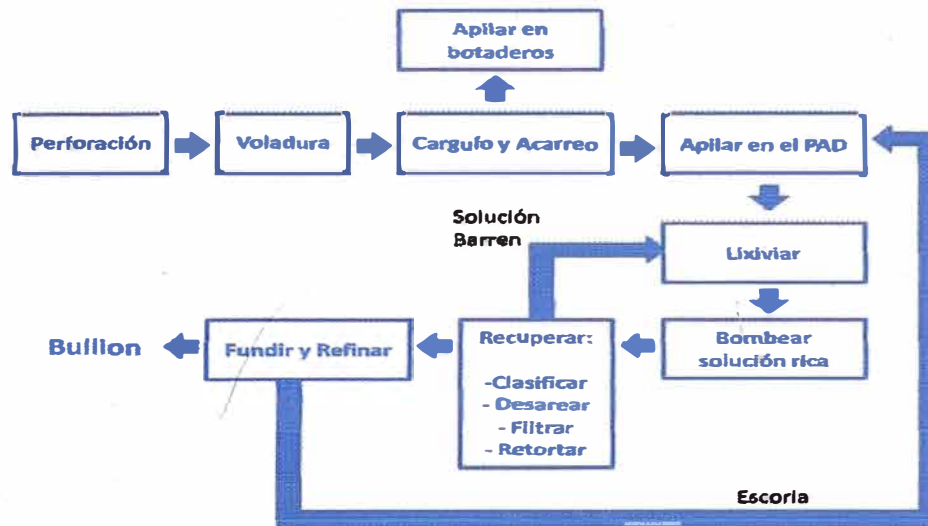


Figura V. 15 Diagrama Funcional de la Unidad Minera La Virgen

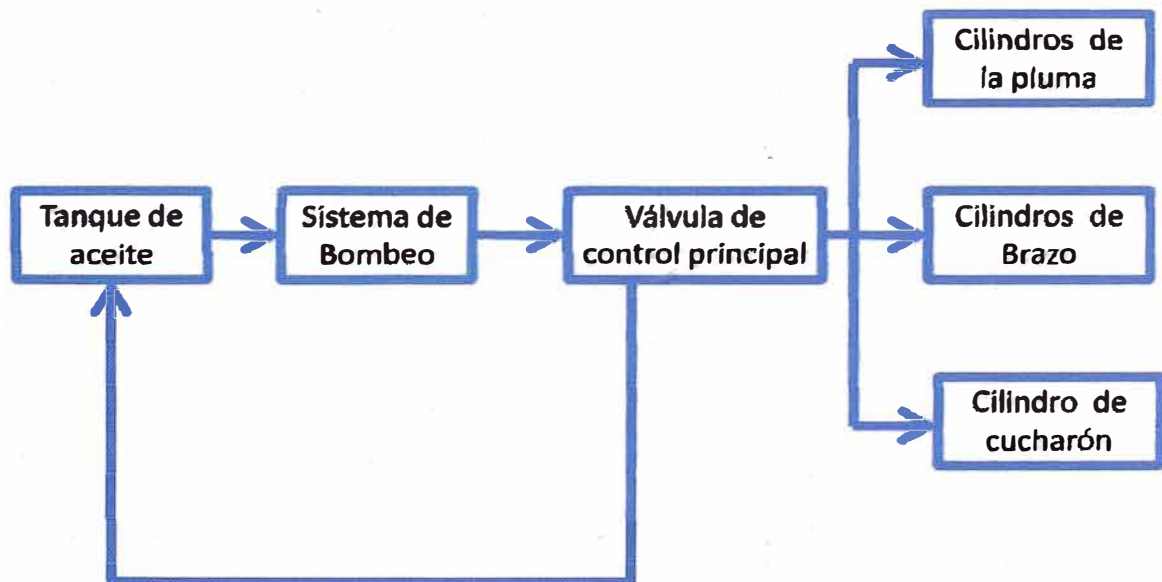
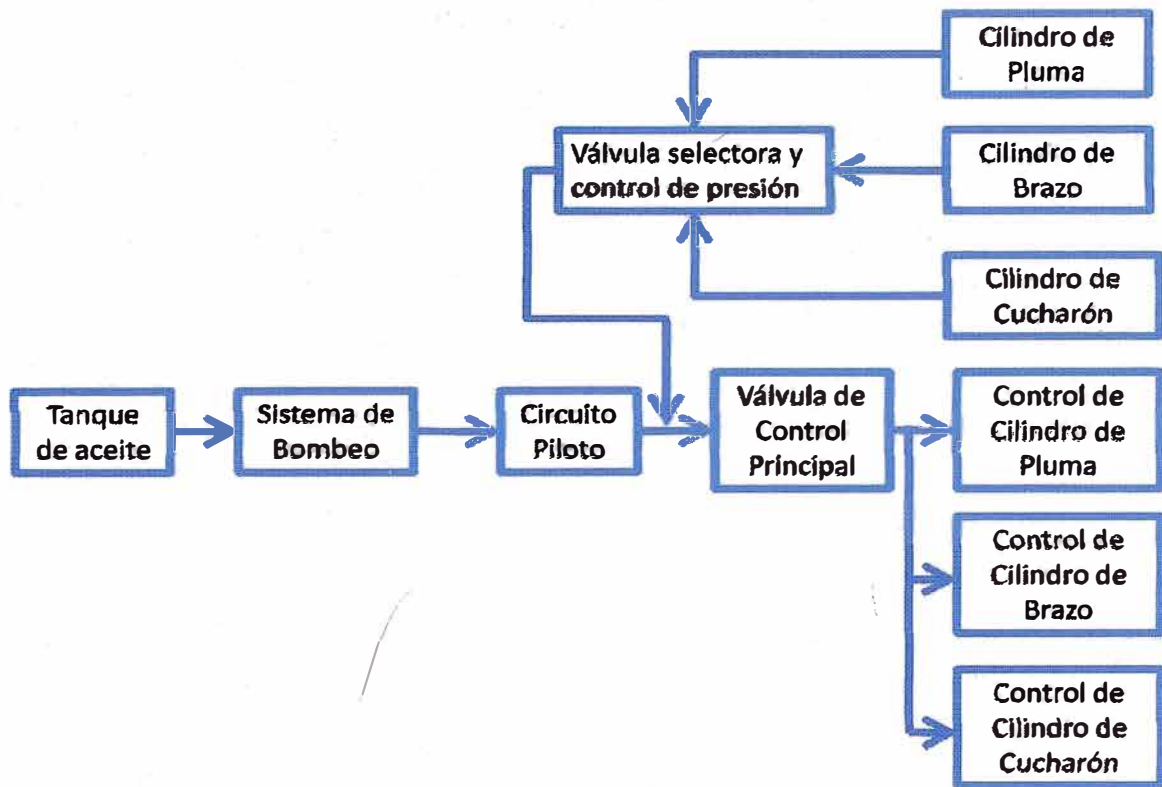


Figura V. 16 Diagrama Funcional de Sistema Hidráulico de Implementos.
Sistema de Alta Presión



**Figura V. 17 Diagrama Funcional de Sistema Hidráulico de Implementos.
Sistema Piloto**

5.4 Desarrollo de los Diagramas Causa Efecto

Se desarrollan los diagramas causa-efecto para el sistema hidráulico en análisis de la excavadora 345CL-6. Los niveles a cubrirse son sistemas, subsistemas, componentes, modos de falla, y así de esta manera plantear la hoja de decisión RCM. Asimismo se desarrollo el análisis FMECA considerando la data histórica como un borrador inicial del tipo de fallas e incidencias más comunes que se presentaron a ello se le adiciono los modos de falla que la experiencia y el conocimiento a nivel de consenso fueron aprobados.

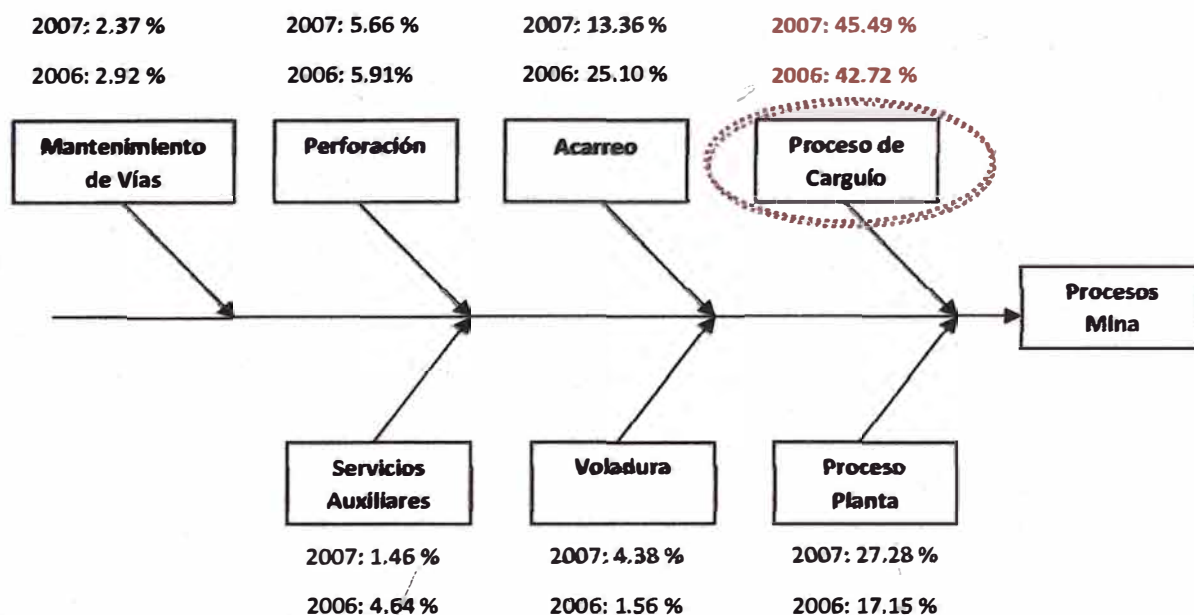


Figura V. 18 Diagramas Causa – Efecto: Procesos Mina – Unidad Minera La Virgen

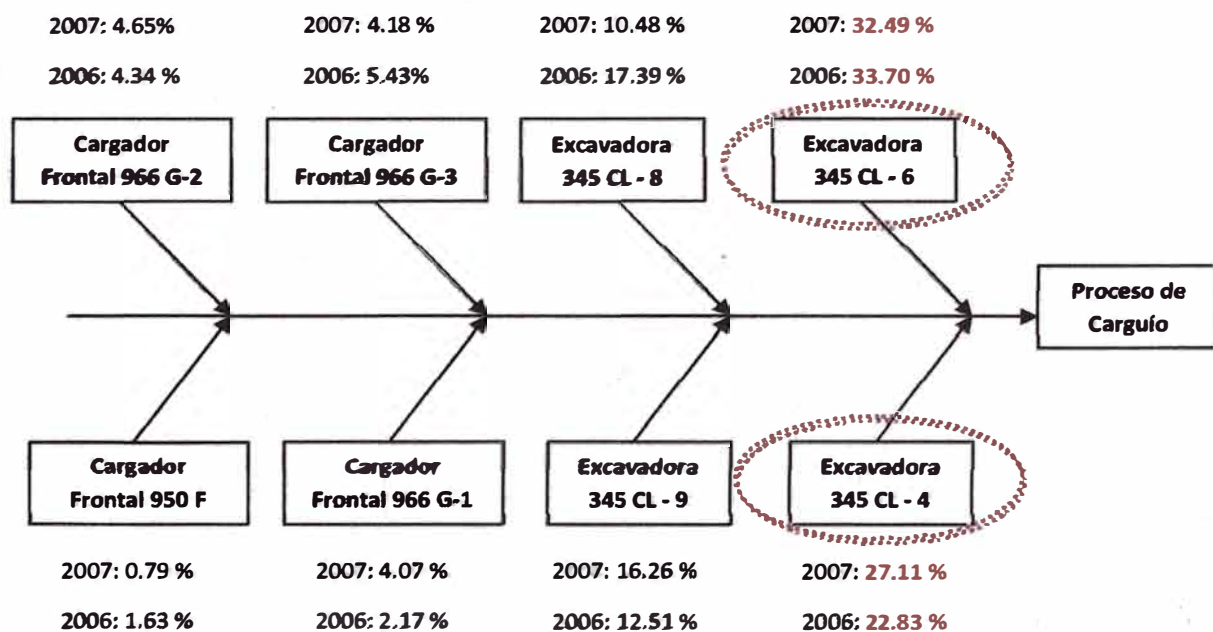


Figura V. 19 Diagramas Causa – Efecto: Proceso de Carguío – Unidad Minera La Virgen

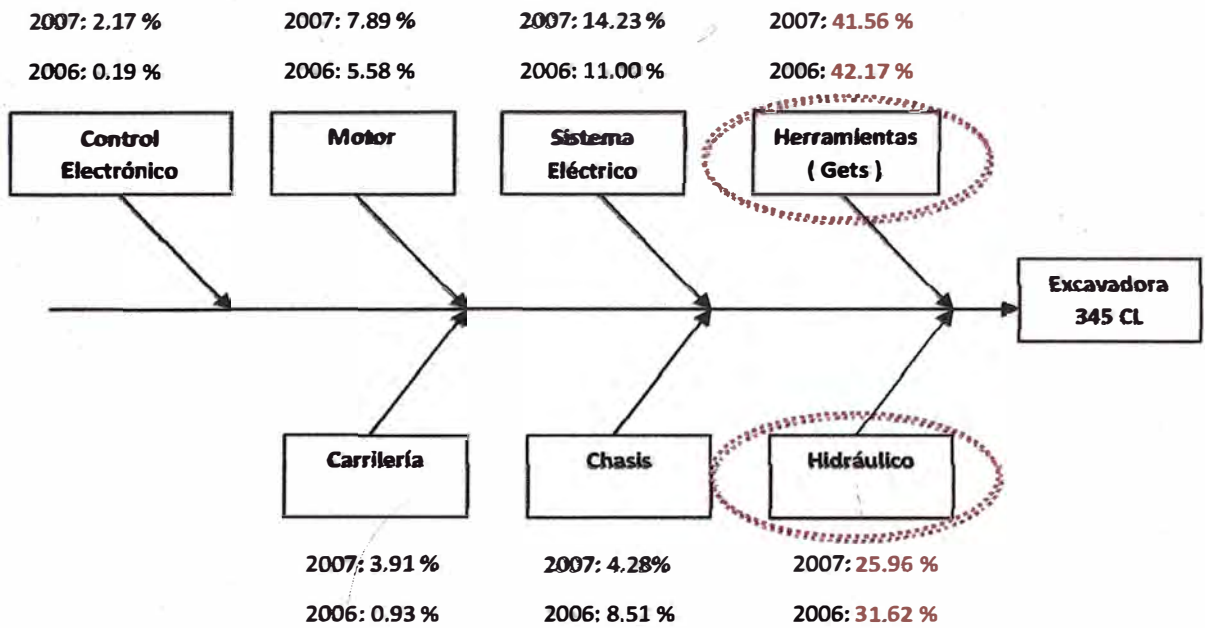


Figura V. 20 Diagramas Causa – Efecto: Excavadora 345 CL

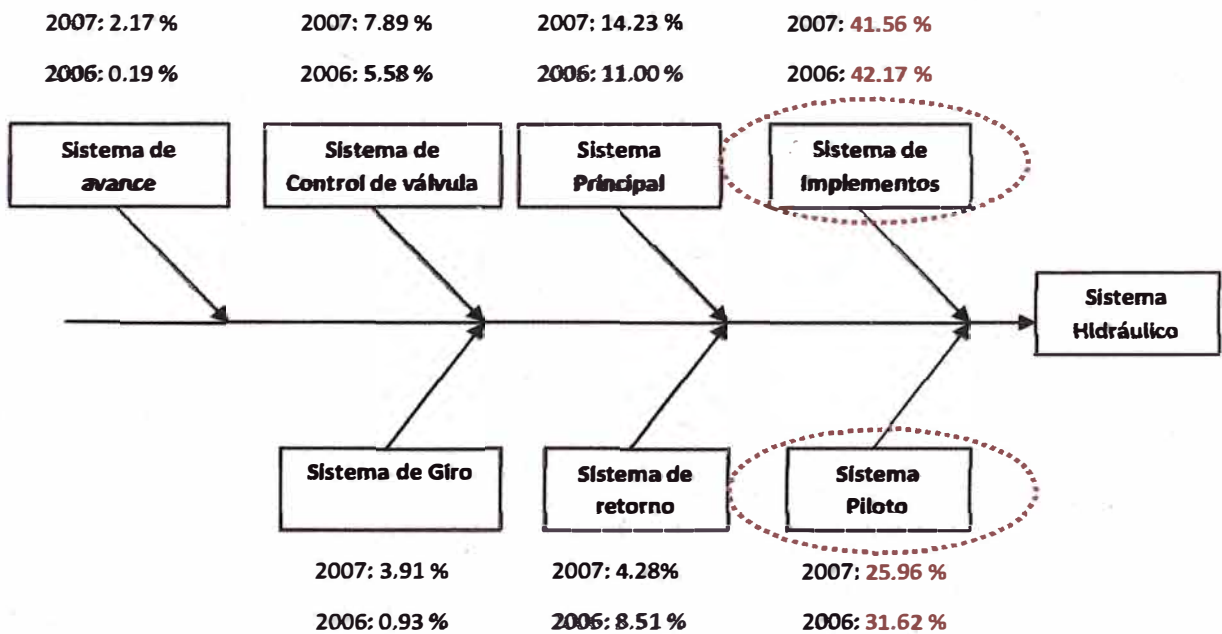


Figura V. 21 Diagramas Causa – Efecto: Sistema Hidráulico – Excavadora 345CL

5.5 Desarrollo del Análisis FMECA

Ver Anexos.

CAPITULO VI

COSTO Y BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACION

6.1 Costos de Implementación

Los costos propios de la implementación obedecen a la suma de los costos por capacitaciones y costos de horas hombre.

Tabla VI.1 Costos de Implementación

Costos	Monto en USD
Costo de formación en cursos básicos en RCM (5 días)	8500
Costo de formación de facilitadores (10 días)	14000
Costo del personal en el análisis	8000
Costo del personal tiempo completo líder del equipo.	1500
Costo de infraestructura	0
Costo de consultoría (Asesoría y facilitador)	0
Total USD	32000

Según tabla podemos notar que el monto total de la implementación piloto del mantenimiento centrado en confiabilidad al sistema hidráulico de los implementos de la excavadora 345 CL asciende 32000 USD.

No se ha considerado el costo de consultoría porque el proyecto fue dirigido por un especialista propio de la compañía que se encargo de formar facilitadores internos en coordinación con una compañía especialista.

Sin embargo es importante notar que los costos de inversión guardan relación con el impacto que causa.

$$C.M.T = MOM + CR + CM + CH + C\ Stock + CO$$

MOM: Es el costo de mano de obra de mantenimiento y es resultado del total de horas hombre.

CR: Es el costo de los repuestos cambiados

CM: Representa el costo de los materiales e insumos utilizados en el mantenimiento preventivo.

CH: Indica el costo de herramienta para mantenimiento preventivo

CO: Costo de oportunidad por parada para mantenimiento preventivo

Cstock: Es el costo de mantener el inventario de repuestos.

De la hoja RCM se desprende los costos anuales en USD:

$$MOM = \$ 50544.04$$

$$CR = \$ 34529.68$$

CM: No se han considerado ya que estos son pocos y por lo general está incluido en los repuestos.

CH: Se tomara como el 0.5% de los costos de los repuestos.

Cstock: Se tomara como el 2% de los costos de los repuestos

$$CH = \$ 172.65$$

$$Cstock = \$ 690.59$$

Y el costo de oportunidad que es sumamente relevante para el caso de una unidad minera.

$$CR = \$ 1593371.26$$

Por lo tanto el costo anual proyectado de las tareas integradas al programa de mantenimiento, producto de la Hoja RCM seria:

$$\text{CMT} = 50544.04 + 34529.68 + 172.65 + 690.59 + 1593371.26$$

CMT= \$ 1679308.22 (costo anual proyectado adicional para una excavadora 345CL)

CMT= \$ 1679308.22 (costo anual proyectado adicional para flota de excavadoras 345CL)

Sin embargo antes de implementar el mantenimiento RCM al plan de mantenimiento que se llevaba, los costos de mantenimiento obedecían a:

CMT: \$ 24574 680.49 (costo anual real 2006 de flota de excavadoras 345CL)

6.2 Beneficios Identificados

Los beneficios obtenidos al ejecutar las tareas recomendadas fueron los siguientes:

- Reducción de costos de mantenimiento
- Se estimaron los costos de mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo)
- Impacto en producción debido a la reducción de detención de las Excavadoras 345CL
- Finalmente se ha validó las frecuencia de estimaciones a un 60% luego de 6 meses de implementación de las tareas recomendadas al cierre del 2007.

Si bien es cierto los costos por inspecciones y reparaciones programadas se incrementaron el costo por mantenimiento se redujo, debido al menor número de paradas imprevistas.

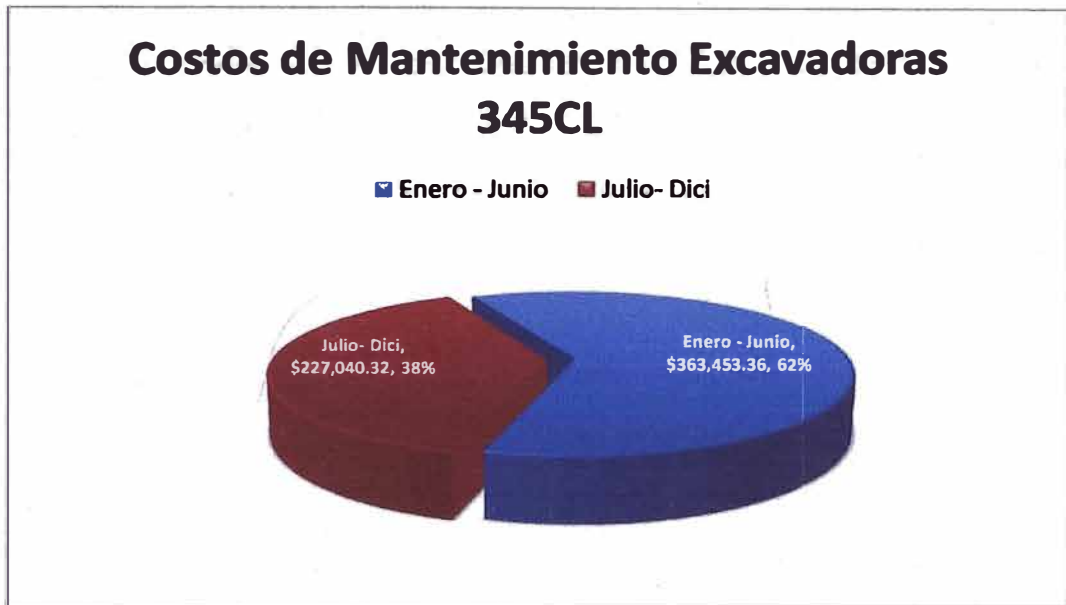


Figura VI. 1 Detalle de costo de mantenimiento de Excavadoras

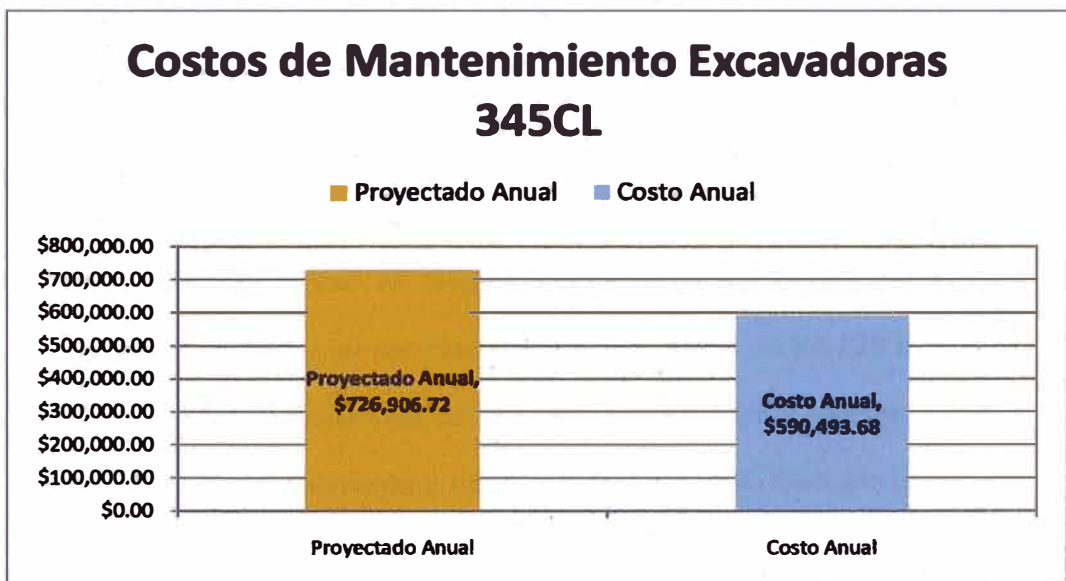


Figura VI. 2 Cuadro comparativo de costos de mantenimiento de Excavadoras

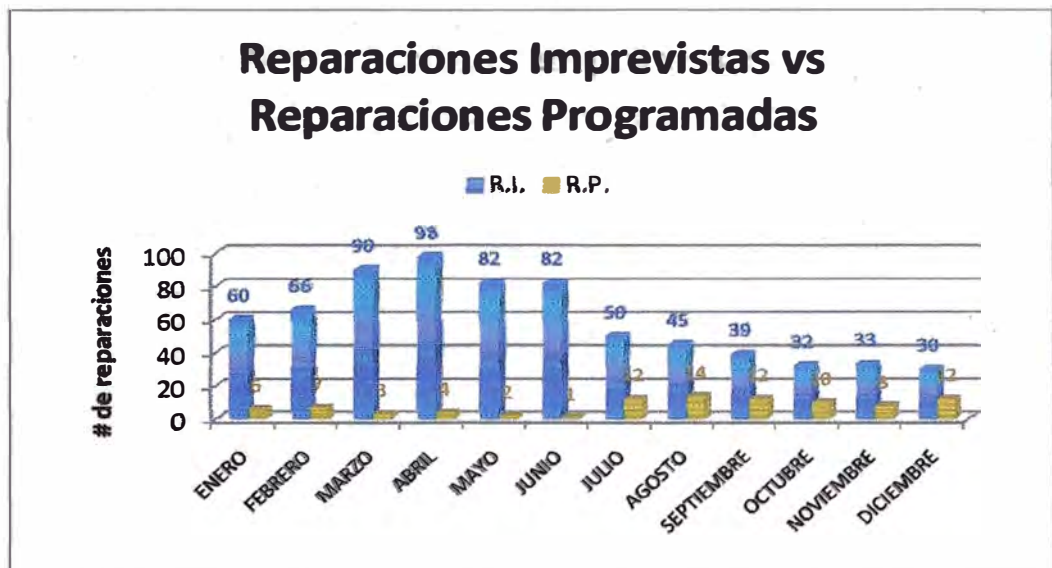


Figura VI. 3 Cuadro comparativo de reparaciones imprevistas vs. programadas

6.3 Otros beneficios

Se han identificado los siguientes beneficios:

- Se ha mejorado la administración de datos de equipos y procedimientos de reparación y mantenimiento.
- Se ha afinado en muchos el seguimiento de desgaste de ciertos componente claves.
- Se ha logrado establecer procesos claves que determinan en muchos casos el mayor impacto sobre la producción.
- Se ha logrado mejorar el historial de fallas, revisando, controlando e informando acciones que contribuyen con las mejora de los KPI's
- Se ha logrado establecer una cultura de mejora continua mediante el trabajo en equipo de mantenimiento y operaciones ajustando frecuencias y lista de tareas.

6.4 Resultados: Indicadores después del RCM

Como anteriormente se había mencionado el costo por oportunidad aproximadamente representaba las pérdidas ocasionadas por las horas de parada de las excavadoras 345 CL.

Ya que aproximadamente en conjunto se ha dejado de cargar 127Kton entre desmonte y mineral, de los cuales en producción representan 85Konza de oro y 26Konza de plata por año. El costo por oportunidad en el 2006 representaba aproximadamente 15'359 175.3 USD.

Tabla VI. 2 Indicadores globales después del RCM

MES	EQUIPO	MTBF	MTRR	Disponibilidad	Confiabilidad
		2007	2007	2007	2007
ENERO	345 CL	22.40	4.88	89.31%	34.25%
FEBRERO	345 CL	21.24	6.32	84.48%	32.31%
MARZO	347 CL	19.28	6.01	81.82%	28.80%
ABRIL	348 CL	18.27	5.26	82.10%	26.89%
MAYO	349 CL	22.33	7.09	80.14%	34.13%
JUNIO	350 CL	23.93	6.36	81.90%	36.68%
JULIO	351 CL	35.78	4.25	89.65%	51.13%
AGOSTO	352 CL	41.23	3.15	92.70%	55.87%
SEPTIEMBRE	353 CL	56.90	2.82	94.65%	65.59%
OCTUBRE	354 CL	67.20	2.70	94.76%	69.97%
NOVIEMBRE	355 CL	64.80	2.30	91.60%	69.05%
DICIEMBRE	356 CL	67.80	3.40	91.16%	70.19%
		38.43	4.54	87.86%	47.90%

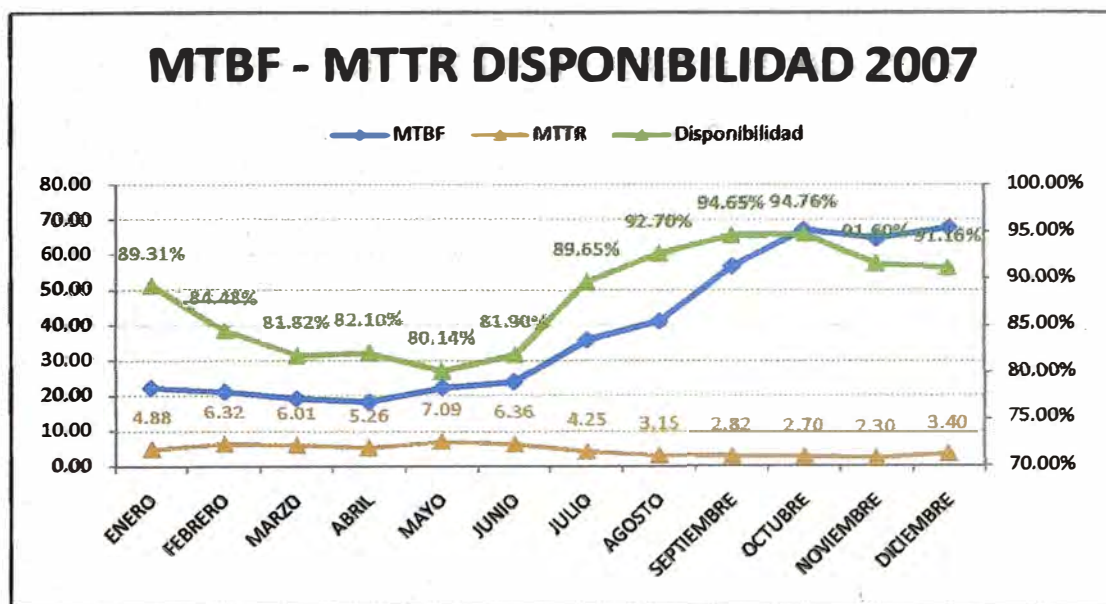


Figura Vi. 4 MTBF- MTTR Disponibilidad 2007 después de RCM

El indicador de disponibilidad de la flota de excavadoras 345CL de la unidad minera La Virgen de Enero a Diciembre de 2007 fue de 87.86%. En 6 meses la disponibilidad no ha sufrido concretamente un aumento ya que las tareas recomendadas estaban destinadas a aumentar la confiabilidad de la flota.

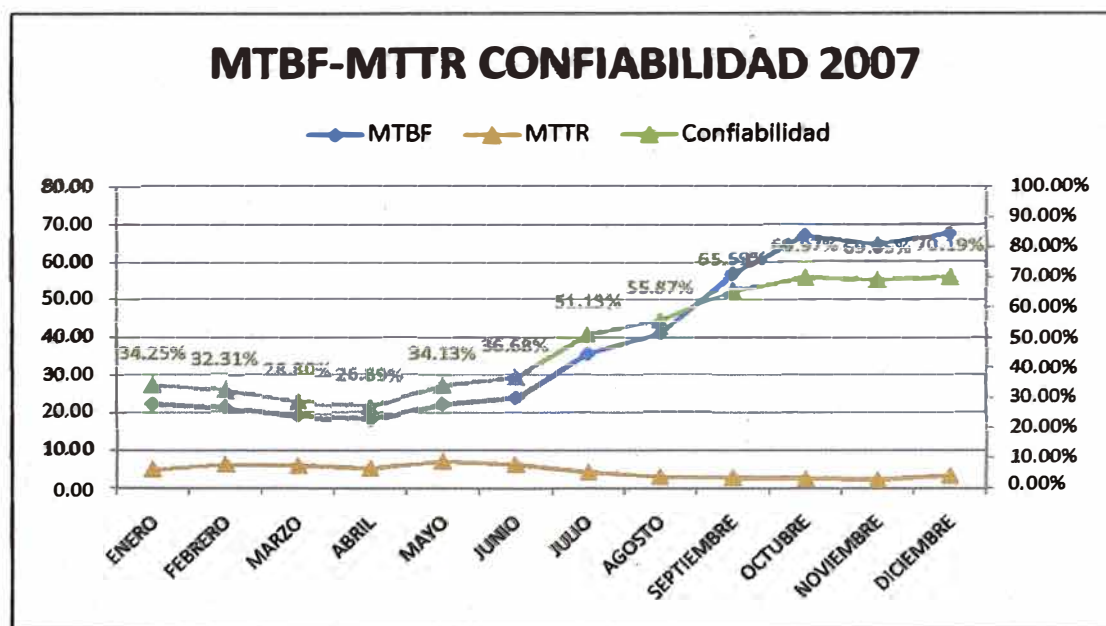


Figura Vi. 5 MTBF- MTTR Confiabilidad 2007 después de RCM

Los valores de confiabilidad de la flota de excavadoras 345CL de la Unidad Minera La Virgen de Enero a Diciembre 2007 se puede observar un incremento a partir del mes de Julio de 2007 hasta diciembre logrando finalmente incrementar el promedio a 47.90%, esto es el reflejo del incremento del tiempo medio entre fallas que debido a la cantidad de tareas integradas al actual plan de mantenimiento se refleja en una disminución de MTTR. En 6 meses la confiabilidad se ha incrementado desde 32.18% a 47.90%, posterior a la implementación del RCM plus.

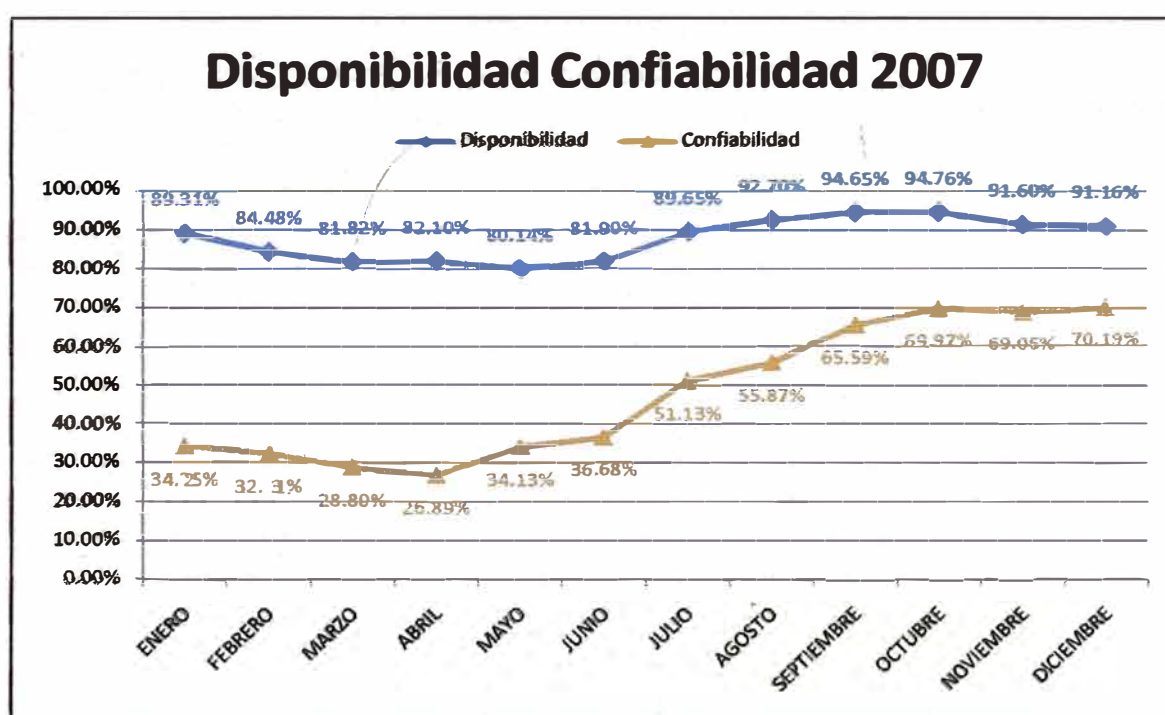


Figura VI. 6 Evolución de la Disponibilidad y Confiabilidad 2007 después del RCM

6.5 Observaciones

Se ha considerado en el análisis FMECA para la factibilidad del proyecto e inicio del mismo considero frecuencias de inspección, reemplazo tomando como referencia la frecuencias de fallas actuales, condición de equipo, consecuencias de las mismas al 2007, posteriormente estas frecuencias fueron ajustadas y afinadas

según control y monitoreo, asimismo se considero la potencial disminución que se lograría al establecer las tareas recomendadas.

Se ha considerado:

Frecuencias de tareas (mínimos, máximos y promedio)

Finalmente se tuvo cuidado de no sobre estimar los beneficios y tareas.

CONCLUSIONES

Del presente informe se puede concluir que la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) plus después de 6 meses de implementación logra asegurar que las fallas potenciales sean detectadas antes que se conviertan en fallas funcionales y a través del énfasis puesto en las tareas estas sean controladas o eliminadas. Con un cumplimiento del 60% de las tareas nuevas recomendadas al sistema hidráulico de la flota de excavadoras 345CL se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1.- Se incremento la confiabilidad de 36.68% a 73.24% de Junio a Diciembre de 2007, siendo el promedio de la confiabilidad de 32.18% de Enero a Junio (antes de la implementación del RCM plus) y de Julio a Diciembre de 2007 se tuvo un promedio de 67.01% (después de la implementación de RCM plus). Para mayor detalle ver la tabla VI. 2 Indicadores globales después del RCM

- 2.- Se incremento la disponibilidad de 89.31% a 92.08% de Junio a Diciembre de 2007, siendo el promedio de disponibilidad de 83.29% de Enero a Junio (antes de la implementación del RCM plus) y de Julio a Diciembre de 2007 se tuvo un promedio de 91.18% (después de la implementación de RCM plus). Para mayor de talle ver la tabla VI. 2 Indicadores globales después del RCM.

- 3.- Los costos de mantenimiento en el año 2007 de Enero a Junio de la flota de excavadoras 345CL fueron de \$ 363 453.36 USD y considerando que los seis meses restantes desarrollarían un monto similar se tendría un monto proyectado anual de \$ 726 906.72 USD sin embargo al cierre del año 2007 se tuvo que lo costos de mantenimiento fueron de \$590 493.68 USD. Por tanto la disminución en los costos de mantenimiento fue \$136 413.04 USD, aproximadamente 18.77%.

- 4.- Finalmente se debe tener en cuenta que el desarrollo de RCM no concluye con el establecimiento de la hoja RCM sino que el análisis continua, mediante el seguimiento y control de tareas, asimismo establecimiento de nuevas tareas, frente a modos de fallas no mencionados o poco comunes, formando una cultura de mantenimiento en base al mejoramiento continuo y localización de oportunidades de mejora.

BIBLIOGRAFÍA

. **Realibility Centered Maintenance – RCM II.** Jhon Moubray. **Segunda Edición.**

2000 EEUU.

Mantenimiento Estratégico para empresas de servicios y/o industriales. Alberto Mora Gutiérrez. Primera Edición. 2005 Colombia

RCM plus Training Manual. The woodhouse partnership Limited. 1999 Inglaterra.

Systems Operation 345 Excavator Hydraulic System. Caterpillar. 2005 EEUU.

APÉNDICE

APÉNDICE A:

- Hoja RCM para excavadora 345CL con motor de 345HP. Mangueras
- Hoja RCM para excavadora 345CL con motor de 345HP. Bombas
- Hoja RCM para excavadora 345CL con motor de 345HP. Cañerías y Filtros
- Hoja RCM para excavadora 345CL con motor de 345HP. Válvulas de Alivio
- Hoja RCM para excavadora 345CL con motor de 345HP. Cilindros

APÉNDICE B:

- Glosario de Términos

**APÉNDICE A: Hojas RCM para excavadora 345CL con
motor de 345HP.**

HOJA RCM PARA EXCAVADORA PARA SISTEMA DE IMPLEMENTOS DE LA EXCAVADORA 345CL CATERPILLAR

LEYENDA
 HP Hora de parada
 TP Tarea programada
 CR Costo de reparación
 FA frecuencia anual de falla
 HR Horas de reparación

Ocurrencia **O** Nivel de ocurrencia de 0 a 10
 Detección **D** Nivel de detección de 0 a 10
 Severidad **S** Nivel de severidad en costos 0 a 10
 Ambiental **A** Nivel de impacto al ambiente de 0 a 10

Ocurrencia
 10. Muy Alta
 8. Alta
 6. Moderada
 3. Baja
 1. Remota

Detección
 10. Indetectable
 8. Remoto
 6. Bajo
 3. Altamente detectable
 1. Fácilmente detectable, totalmente controlable

Severidad
 10. Impacto muy alto
 7. Alto impacto
 3. Impacto moderado
 5. Bajo impacto
 1. ningún impacto

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	Substrato, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	EFECTO DE FALLA	O	D	S	TOTAL	TAREA	DESCRIPCION DE LA TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA	TIEMPO DE INTERVENCIÓN (Hrs)	TOTAL M.O.	COSTO M.O. ANUAL (USD)	COSTO DE REPUESTOS (USD)	PERDIDA X INTERVENCIÓN (USD)	COSTO DE OPORTUNIDAD + LUCRO CESANTE ANUAL (USD)	
Cilindros de pluma(boom), brazo(stick) y cucharas(bucket)	Rotura de cilindro	Fatiga de material	Gradual	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindros CR: 400 a 800 US\$ FA: 1 cada 2 años	1	9	8	18	PREDICTIVA PREDICTIVA	Evaluar tiempo de vida útil de los cilindros para programar su reemplazo Evaluar hermeticidad, y zonas calientes	Monitor de condiciones Monitor de condiciones	Quincenal Trimestral	0.3 1	8.15 16.30	\$198.32 \$65.20		\$2,844.29	\$11,377.16	
		Sobrecarga operacional	Gradual	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindros CR: 400 a 800 US\$ FA: 3 a 4 veces	4	9	8	21	PREVENTIVA PROACTIVA PROACTIVA	Establecer límites de carga en operación Capacitación de operadores sobre la adecuada operación Verificar adecuada operación dentro de los límites	Gerente de operaciones Instructor de excavadoras Supervisor de mantenimiento	Mensual Mensual Diario	3 72 3	62.00 741.60 20.60	\$744.00 \$8,899.20 \$7,519.00				
		Sobrepresión de aceite	Aleatoria	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindros CR: 400 a 800 US\$ FA: 6 a 10 veces	6	9	8	23	PROACTIVA PROACTIVA PREVENTIVA PROACTIVA	Evaluar la presión del sistema, alta y piloto Verificar adecuada operación dentro de los límites Establecer límites de carga en operación Capacitación de operadores sobre la adecuada operación	Mecánico I Supervisor de mantenimiento Gerente de operaciones Instructor de excavadoras	Trimestral Diario Mensual Mensual	8 3 8 72	142.30 20.60 248.00 741.60	\$569.20				
		Golpes	Aleatoria	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindros CR: 400 a 800 US\$ FA: 1 cada 3 años	1	1	8	10	CORRECTIVA	Reemplazar cilindro cuando falle	Mecánico I	Al fallar	6	89.00	\$33.00	\$5,413.15	\$17,065.74	\$5,688.58	
		Reparación inadecuada	Infantil	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindros CR: 400 a 800 US\$ FA: 1 vez	2	9	8	19	PREVENTIVA	Verificar que la reparación de los cilindros sea adecuada	Planner de Mantenimiento	Semestral	8	96.00	\$192.00				
	Cilindros con fugas internas y externas	Desalineamiento	Gradual	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de vástagos y componentes CR: 400 a 1200 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	9	8	19	PREVENTIVA PREDICTIVA	Verificar juego y regular con laines Monitoreo de desgaste de las laines	Mecánico I Monitor de condiciones	Quincenal Semanal	1 1	4.50 16.30	\$109.50 \$847.60	\$568.86	\$2,844.29	\$69,211.06	
		Rayadura de vástago	Gradual	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de vástago y componentes CR: 400 a 1200 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	9	8	19	PREDICTIVA	Monitoreo de componentes internos mediante el análisis de aceite	Monitor de condiciones	Semanal	2	32.60			\$0.00		
		Sobrepresión	Aleatoria	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de vástagos y componentes CR: 400 a 1200 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	8	8	18	PREVENTIVA PREVENTIVA PREVENTIVA PROACTIVA	Evaluar y regular la presión del sistema de alta y piloto Verificar adecuada operación dentro de los límites Establecer límites de carga en operación Capacitación a operadores	Mecánico I Supervisor de mantenimiento Gerente de operaciones Instructor de excavadoras	Trimestral Diario Mensual Mensual	8 3 8 120	142.30 20.60 248.00 1236.00					
		Deterioro de componentes internos (contaminación)	Gradual	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de vástagos y componentes según evaluación CR: 400 a 1200 US\$ FA: 3 a 4 veces	4	10	8	22	PROACTIVA PREDICTIVA	Asegurar que el aceite este limpio de impurezas y partículas contaminantes Monitoreo de componentes internos mediante el análisis de aceite	Monitor de condiciones Monitor de condiciones	Semanal Semanal	0.5 2	8.15 32.60					
		Fisuras en la botella del cilindro	Infantil	Sint. Implementos no funcionan, fuga de aceite HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindro CR: 1000 a 2000 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	4	8	14	PREVENTIVA	Verificar por grietas y fisuras	Mecánico I	Quincenal	0.2	2.10	\$51.10	\$113.77	\$568.86	\$13,842.21	
Cilindros con fugas internas y externas	Sellos dañados	Gradual	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de sellos y componentes CR: 400 a 1200 US\$ FA: 6 a 10 veces	6	8	8	22	PROACTIVA PREDICTIVA PROACTIVA PREDICTIVA	Asegurar que el aceite este limpio de impurezas y partículas contaminantes Monitoreo de componentes internos mediante el análisis de aceite Evaluar y regular la presión del sistema alta y piloto Evaluar tiempo de sellos de los cilindros para su reemplazo.	Monitor de condiciones Monitor de condiciones Mecánico I Monitor de condiciones	Quincenal Semanal Trimestral Quincenal	1 2 3 1	16.30 32.60 43.30 16.30	\$396.63					
	Vida útil	Edad	Sint. Implementos no funcionan HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de cilindro CR: 400 a 800 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	9	8	19	PREDICTIVA PREDICTIVA	Monitoreo de componentes internos mediante el análisis de aceite Evaluar tiempo de sellos de los cilindros para su reemplazo.	Monitor de condiciones Monitor de condiciones	Semanal Quincenal	2 1	32.60 16.30						
														581.9	9144.40	\$50,544.04	\$34,529.68		\$1,593,371.26
													TOTAL HORAS X AÑO	COSTOS M.O.M. X INTERVENCIÓN	COSTOS M.O.M. X AÑO	COSTOS REPUESTOS		MONTO QUE SE DEJA DE PRODUCIR	
													TOTAL						\$1,678,444.98

HOJA RCM PARA EXCAVADORA PARA SISTEMA DE IMPLEMENTOS DE LA EXCAVADORA 345CL CATERPILLAR

HP TP CR FA HR	LEYENDA Hora de parada Tarea programada Costo de reparación frecuencia anual de falla Horas de reparación	Ocurrencia O Nivel de ocurrencia de 0 a 10 Detección D Nivel de detección de 0 a 10 Severidad S Nivel de severidad en costos 0 a 10 Ambiental A Nivel de impacto al ambiente de 0 a 10	Ocurrencia 10. Muy Alta 8. Alta 6. Moderada 3. Baja 1. Remota	Detección 10. Indetectable 8. Remoto 6. Bajo 3. Altamente detectable 1. Fácilmente detectable, totalmente controlable	Severidad 10. Impacto muy alto 7. Alto impacto 3. Impacto moderado 5. Bajo impacto 1. ningún Impacto
----------------------------	---	---	--	--	---

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	Subto, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	Sint.	EFECTO DE FALLA	O	D	S	TOTAL	TAREA	DESCRIPCION DE LA TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA	TIMPO DE INTERVENCIÓN (Hrs)	TOTAL M.O	COSTO M.O ANUAL (USD)	COSTO DE REPUERTOS (USD)	PERDIDA X INTERVENCIÓN (USD)	COSTO DE OPORTUNIDAD + LUCRO CESANTE ANUAL (USD)
No libera presión solicitada	Calibración inadecuada	Implementos lentos HP: 0.5 a 1 hora TP: Recalibración de válvula CR: 50 a 100 US\$ FA: 6 a 10 veces	Infantil	Sint.	Implementos lentos	6	9	8	23	PROACTIVA	Verificar el cumplimiento adecuado procedimiento para calibración de válvulas	Supervisor de mantenimiento	Mensual	3	48.90	\$586.80			
				PROACTIVA						Asegurar la existencia de herramientas adecuadas para la calibración	Supervisor de mantenimiento	Quincenal	1	10.50	\$250.63				
				PROACTIVA						Capacitar en la calibración de válvulas	Supervisor de mantenimiento	Mensual	8	97.80	\$1,173.60				
Desgaste prematuro	Edad	Implementos lentos HP: 0.5 a 1 hora TP: Cambio de válvula y evaluación del banco de válvulas CR: 250 a 500 US\$ FA: 4 a 6 veces	Edad	Sint.	Implementos lentos	5	6	8	19	PREVENTIVA	Monitoreo de componentes mediante el análisis de aceite	Monitor de condiciones	Semanal	3	32.60	\$1,695.20			
				PREVENTIVA						Verificar el normal funcionamiento del solenoide	Mecánico I	Quincenal	1	4.50	\$109.50				
Trabada	Aleatoria	Implementos lentos y alta temperatura HP: 2 a 4 horas TP: Cambio de válvulas y evaluación del banco de válvula CR: 250 a 40000 US\$ FA: 6 a 10 veces	Aleatoria	Sint.	Implementos lentos y alta temperatura	6	9	8	23	PROACTIVA	Asegurar que el aceite este limpio de impurezas y partículas contaminantes	Monitor de condiciones	Semanal	0.3	8.15	\$423.80			
				PREVENTIVA						Monitoreo de componentes mediante el análisis de aceite	Monitor de condiciones	Semanal	2	32.60					
											Mecánico I	Quincenal	1	4.50		\$568.86	\$2,844.29	\$69,211.06	
Presión liberada innecesariamente	Calibración inadecuada	Implementos lentos HP: 0.5 a 1 hora TP: Recalibración de válvula CR: 50 a 100 US\$ FA: 6 a 10 veces	Infantil	Sint.	Implementos lentos	6	9	8	23	PROACTIVA	Verificar el cumplimiento adecuado procedimiento para calibración de válvulas	Supervisor de mantenimiento	Mensual	3	48.90				
				PROACTIVA						Asegurar la existencia de herramientas adecuadas para la calibración	Supervisor de mantenimiento	Quincenal	1	10.50					
				PROACTIVA						Capacitar en la calibración de válvulas	Supervisor de mantenimiento	Mensual	8	97.80					
Obstrucción por aceite contaminado	Aleatoria	Implementos lentos y alta temperatura de aceite HP: 2 a 4 horas TP: Reemplazo de la válvula CR: 800 a 1500 US\$ FA: 6 a 10 veces	Aleatoria	Sint.	Implementos lentos y alta temperatura de aceite	6	9	8	23	PROACTIVA	Asegurar que el aceite este limpio de impurezas y partículas contaminantes	Monitor de condiciones	Quincenal	0.3	8.15				
				PREVENTIVA						Verificar el normal funcionamiento del solenoide	Mecánico I	Quincenal	1	4.50					
Desgaste prematuro	Gradual	Implementos lentos HP: 1 a 4 horas TP: Reemplazo de válvula y evaluación del banco de válvula CR: 200 a 4000 US\$ FA: 6 a 10 veces	Gradual	Sint.	Implementos lentos	6	9	8	23	PROACTIVA	Asegurar que el aceite este limpio de impurezas y partículas contaminantes	Monitor de condiciones	Quincenal	0.3	8.15				
				PREVENTIVA						Verificar el normal funcionamiento del solenoide	Mecánico I	Quincenal	1	4.50					
Cavitación	Aleatorio	Implementos lentos, ruido, alta temperatura de aceite HP: 1 a 4 horas TP: Cambio de válvulas y evaluación del banco de válvula CR: 300 a 500 US\$ FA: 4 a 6 veces	Aleatorio	Sint.	Implementos lentos, ruido, alta temperatura de aceite	5	6	8	19	PREVENTIVA	Purgar el sistema en cada cambio de componente o manguera	Mecánico III	Cada Instalacion	0.3	1.50	\$6.00		\$1,422.15	\$5,688.58
Fuga por sellos	infantil	Fuga de aceite hidráulico HP: 0.5 a 1 hora TP: Reemplazo de sellos CR: 20 a 100 US\$ FA: 6 a 12 veces	infantil	Sint.	Fuga de aceite hidráulico	6	8	9	23	PROACTIVA	Verificar el adecuado procedimiento para la instalación de sellos	Mecánico I	Cada Instalacion	1	14.80	\$900.33			
				PROACTIVA						Asegurar la existencia de herramientas adecuadas para la calibración	Supervisor de Mantenimiento	Quincenal	1	10.30					
	Gradual	Fuga de aceite hidráulico HP: 0.5 a 1 hora TP: Reemplazo de sellos CR: 20 a 100 US\$ FA: 6 a 10 veces	Gradual	Sint.	Fuga de aceite hidráulico	6	8	9	23	PROACTIVA	Asegurar la existencia del kit de sellos o-ring y d-ring	Planner de Mantenimiento	Semanal	0.3	6.00				

HOJA RCM PARA EXCAVADORA PARA SISTEMA DE IMPLEMENTOS DE LA EXCAVADORA 345CL CATERPILLAR

HP TP CR FA HR	LEYENDA Hora de parada Tarea programada Costo de reparación frecuencia anual de falla Horas de reparación	Ocurrencia D Severidad S Ambiental A	Nivel de ocurrencia de 0 a 10 Nivel de detección de 0 a 10 Nivel de severidad en costos 0 a 10 Nivel de impacto al ambiente de 0 a 10	Ocurrencia 10. Muy Alta 8. Alta 6. Moderada 3. Baja 1. Remota	Detección 10. Indetectable 8. Remoto 6. Bajo 3. Altamente detectable 1. Fácilmente detectable, totalmente controlable	Severidad 10. Impacto muy alto 7. Alto impacto 3. Impacto moderado 5. Bajo impacto 1. ningún impacto
----------------------------	---	---	--	--	--	---

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	Subida, Gradual, Infrecuente, Aleatoria, Edad	EFFECTO DE FALLA	O	D	S	TOTAL	TAREA	DESCRIPCION DE LA TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA	TIEMPO DE INTERVENCIÓN (Hrs)	TOTAL M.O	COSTO M.O ANUAL (USD)	COSTO DE REPUESTOS (USD)	PERDIDA X INTERVENCIÓN (USD)	COSTO DE OPORTUNIDAD + LUCRO CESANTE ANUAL (USD)		
Cañerías	Fugas	Instalación inadecuada	Infrecuente	Sint: Fugas de aceite HP: 0.2 a 0.5 horas TP: Cambio de sellos y reinstalación CR: 100 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	10	9	24	PROACTIVA PROACTIVA	Divulgar procedimiento de instalación, capacitación Verificar y asegurar el stock de sellos en almacén	Supervisor de Mantenimiento Supervisor de Mantenimiento	Mensual Semanal	3 1	48.90 10.30	\$586.80 \$535.80					
		Roca	Gradual	Sint: Fuga de aceite. HP: 0.5 horas TP: Reemplazo de cañería CR: 500 a 800 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	4	9	18	PREVENTIVA	Inspección periódica de cañerías	Mecánico I	Semanal	1	14.80	\$769.60	\$568.86	\$2,844.28	\$147,803.08		
		Golpe	Aleatorio	Sint: Fuga de aceite HP: 0.5 horas TP: Reemplazo de cañería CR: 500 a 800 US\$ FA: 3 a 4 veces	4	2	9	15	CORRECTIVA	Reemplazo cuando falle	Mecánico I, II, III	Al fallar	0.3	2.25	\$9.00	\$284.43	\$1,422.15	\$5,888.58		
		Vibración	Gradual	Sint: Fuga de aceite HP: 0.3 horas TP: Ajuste o cambio de sellos CR: 100 a 200 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	9	9	23	PROACTIVA PROACTIVA	Utilizar el procedimiento adecuado para la instalación Verificar existencia de vibración si la hubiera corregir	Mecánico I Supervisor de Mantenimiento	Cada instalación Mensual	2 4	19.30 89.20	\$1,174.08 \$1,070.40		\$11,377.16	\$136,525.82		
		Sujeción inadecuada	Infrecuente	Sint: Fuga de aceite HP: 0.3 horas TP: Ajuste o cambio de sellos CR: 100 a 200 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	9	9	23	PROACTIVA PROACTIVA PROACTIVA	Verificar que los filtros estén en buen estado Utilizar tapones cuando se realice una reparación Verificar y asegurar el stock de sellos en almacén	Mecánico I Mecánico I Supervisor de Mantenimiento	Antes de cambios de filtro Cada reparación Semanal	0.5 0.5 1	5.25 2.25 10.30	\$21.00 \$136.88	\$284.43	\$1,422.15	\$5,888.58		
		Vida útil	Edad	Sint: Fuga de aceite HP: 0.5 horas TP: Reemplazo de cañería CR: 50 a 800 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	8	9	19	PREVENTIVA	Divulgar los procedimientos de instalación de cañerías y sellos	Supervisor de Mantenimiento	Quincenal	3	32.60	\$793.27					
		Obstrucción en los acoples		Fragmentos metálicos	Aleatorio	Sint: Aumento de presión HP: 4 a 8 horas TP: Evaluación, inspección y limpieza general CR: 3500 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	9	8	19	PREDICTIVA PREDICTIVA	Evaluación de escurrimiento de los cilindros Medición de presiones, calibración y ajustes	Mecánico I Monitor de condiciones	3 meses semanal	3 1	41.80 16.30	\$167.20	\$1,706.57	\$8,532.87	\$34,131.48
					Gradual	Sint: Código de falla HP: 0.5 a 1 hora TP: Cambio de filtros CR: 100 a 800 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	2	8	12	PREVENTIVA	Limpieza de tanque hidráulicos por sedimentos y condensación	Mecánico I	6 meses	2	43.30	\$86.60	\$1,137.72	\$5,888.58	\$11,377.16
		Filtros	Obstrucción o saturación de filtros	Contaminación de aceite	Gradual	Sint: Código de falla HP: 0.5 a 1 hora TP: Cambio de filtros CR: 100 a 800 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	2	8	12	PREVENTIVA	Limpieza de tanque hidráulicos por sedimentos y condensación	Mecánico I	6 meses	2	43.30	\$86.60	\$1,137.72	\$5,888.58	\$11,377.16
				Instalación inadecuada	Infrecuente	Sint: Alarma de bajo nivel activa HP: 0.5 a 1 hora TP: Cambio o limpieza de filtros CR: 100 a 800 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	5	3	13	PREVENTIVA	Rellenar Aceite	Mecánico I	6 meses	4	52.30	\$104.60	\$2,275.43	\$11,377.16	\$22,754.32
Fuga externa	Rosca del vaso y base de filtro dañada		Edad	Sint: Bajo nivel de aceite y fugas HP: 1 a 1.5 horas TP: Cambio de sellos o instalación CR: 150 a 300 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	3	5	10	CORRECTIVA	Reemplazar filtro cuando falle	Mecánico III	Al fallar	0.3	1.50	\$3.00	\$284.43	\$1,422.15	\$2,844.28		
	Falta de elementos de filtro		Aleatorio	Sint: Alta temperatura de aceite hidráulico HP: 0.5 a 1 hora TP: Cambio de elemento o filtro CR: 100 US\$ FA: 1 a 2 veces	2	6	6	14	CORRECTIVA	Cambio de filtro	Mecánico III	Al fallar	0.3	1.50	\$3.00	\$284.43	\$1,422.15	\$2,844.28		
Elemento filtrante no filtro	Infrecuente		Sint: Ruido en base de filtro HP: 0.5 horas TP: Reajuste de base CR: 50 a 100 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	6	6	17	PREVENTIVA	Verificar que la instalación sea la adecuada	Mecánico I	Semanal	3	13.50	\$702.00						
Vibración	Instalación inadecuada		Infrecuente	Sint: Ruido en base de filtro HP: 0.5 horas TP: Reajuste de base CR: 50 a 100 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	6	6	17	PREVENTIVA	Verificar que la instalación sea la adecuada	Mecánico I	Semanal	3	13.50	\$702.00					
	Soporte roto		Infrecuente	Sint: Fuga de aceite, ruido HP: 0.5 horas TP: Cambio de base CR: 50 a 100 US\$ FA: 6 a 10 veces	6	8	9	23	PROACTIVA PREVENTIVA	Capacitar en la correcta instalación y torque del filtro Inspección de fisuras de la base de filtro	Supervisor de mantenimiento Mecánico I	Mensual Semanal	6 0.5	97.80 2.25	\$1,173.60 \$117.00	\$284.43	\$1,422.15	\$73,951.54		

HOJA RCM PARA EXCAVADORA PARA SISTEMA DE IMPLEMENTOS DE LA EXCAVADORA 345CL CATERPILLAR

HP TP CR FA HR	LEYENDA Hora de parada Tarea programada Costo de reparación frecuencia anual de falla Horas de reparación	Ocurrencia O Nivel de ocurrencia de 0 a 10 Detección D Nivel de detección de 0 a 10 Severidad S Nivel de severidad en costos 0 a 10 Ambiental A Nivel de impacto al ambiente de 0 a 10	Ocurrencia 10. Muy Alta 8. Alta 6. Moderada 3. Baja 1. Remota	Detección 10. Indetectable 8. Remoto 6. Bajo 3. Altamente detectable 1. Fácilmente detectable, totalmente controlable	Severidad 10. Impacto muy alto 7. Alto impacto 3. Impacto moderado 5. Bajo impacto 1. ningún impacto
----------------------------	---	---	--	--	---

COMPONENTE	MODOS DE FALLA	CAUSA DE FALLA	Subita, Gradual, Infantil, Aleatoria, Edad	EFECTO DE FALLA	O	D	S	TOTAL	TAREA	DESCRIPCION DE LA TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA	TIEMPO DE INTERVENCIÓN (Hrs)	TOTAL M.O	COSTO M.O ANUAL (USD)	COSTO DE REPUESTOS (USD)	PERDIDA X INTERVENCIÓN (USD)	COSTO DE OPORTUNIDAD + LUCRO CERRANTE ANUAL (USD)
Bomba	Baja eficiencia	Contaminación	Gradual	Sint. Alta temperatura y respuesta lenta de implementos HP: 1 a 2 horas TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 2 a 3 veces	3	9	8	20	PREVENTIVA	Utilizar tapones cuando se realice una reparación	Mecánico III	Cada reparación	0.5	1.50	\$182.50			
		Vida útil	Edad	Sint. Alta temperatura y respuesta lenta de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de la bomba CR: 4000 a 6000 US\$ FA: 2 a 3 veces	2	9	8	19	PREDICTIVA PREDICTIVA	Testear el desempeño de la bomba Evaluar tiempo de vida útil de la bomba	Mecánico I Monitor de Condiciones	Mensual Mensual	6 2	109.30 32.60	\$1,311.60	\$3,413.15	\$17,065.74	\$204,788.88
		Ensamble inadecuado	Infantil	Sint. Alta temperatura y respuesta lenta de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de la bomba y componentes CR: 5000 a 6000 US\$ FA: 1 a 2 veces	1	9	8	18	PREVENTIVA	Verificar el componente y procedimiento de instalación	Supervisor de mantenimiento	Cada instalación	6	97.80	\$195.60	\$3,413.15	\$17,065.74	\$34,131.48
		Instalación inadecuada	Infantil	Sint. Alta temperatura y respuesta lenta de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de la bomba y componentes CR: 5000 a 6000 US\$ FA: 1 a 2 veces	1	9	8	18	PREVENTIVA	Verificar el componente y procedimiento de instalación	Supervisor de mantenimiento	Cada instalación	6	97.80				
		Fuga de aceite por reten de eje o agujero testigo	Gradual	Sint. Alta temperatura y respuesta lenta de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de la bomba y componentes CR: 5000 a 6000 US\$ FA: 1 a 2 veces	1	4	8	13	PREVENTIVA	Inspección periódica por fugas de aceite por reten	Mecánico I, II, III	Quincenal	0.5	5.25	\$127.75	\$284.43	\$1,422.15	\$34,605.53
	Atascada	Reparación inadecuada	Infantil	Sint. Respuesta lenta de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de bomba CR: 6000 a 8000 US\$ FA: 1 a 2 veces	1	9	8	18	PREVENTIVA	Verificar que la reparación de bomba sea la adecuada	Planner de mantenimiento	Mensual	6	118.50	\$1,419.60			
		Falla de componentes internos	Gradual	Sint. Respuesta lenta de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de bomba CR: 6000 a 8000 US\$ FA: 4 a 6 veces	5	10	8	23	PREDICTIVA PROACTIVA	Evaluar tiempo de la vida útil de la bomba Asegurar que el aceite se encuentre libre de contaminación	Monitor de Condiciones Monitor de condiciones	Mensual Quincenal	2 0.5	32.60 8.15	\$391.20 \$198.32			
	Fugas	Desgaste de componentes internos	Aleatoria	Sint. Alta temperatura y destrucción parcial o total de implementos HP: 4 a 6 horas TP: Reemplazo de la bomba CR: 6000 a 33000 US\$ FA: 1 vez	1	9	10	20	PREDICTIVA	Monitoreo de componentes mediante el análisis de aceite	Monitor de condiciones	Quincenal	2	32.60				
	Cavitación	Bajo nivel de aceite	Gradual	Sint. Respuesta lenta de implementos HP: 0.5 a 1 hora TP: Tests de desempeño y medición de presiones CR: 100 a 600 US\$ FA: 12 a 16 veces	7	4	8	19	PREVENTIVA	Inspeccionar por fugas en conectores y/o sellos	Mecánico I, II, III	Quincenal	0.5	5.25	\$127.75	\$284.43	\$1,422.15	\$34,605.53
	Aeración	Instalación inadecuada	Infantil	Sint. Operación errática de los implementos HP: 1 a 2 horas TP: Reemplazo de bomba CR: 6000 a 8000 US\$ FA: 1 a 2 veces	1	8	8	17	PREVENTIVA PREVENTIVA	Verificar que la instalación de la bomba sea adecuada Inspeccionar por fugas en conectores y/o sellos	Supervisor de Mantenimiento Mecánico I, II, III	Cada instalación Quincenal	3 0.5	30.90 5.25	\$61.80	\$1,706.57	\$8,532.87	\$17,065.74
		Mangueras de succión dañadas	Edad	Sint. Operación errática de los implementos HP: 1 a 2 horas TP: Reemplazo de bomba CR: 1000 US\$ FA: 3 a 4 veces	4	6	8	18	PREVENTIVA	Inspeccionar por fugas en conectores y acoples	Mecánico I, II, III	Quincenal	0.5	5.25				

HOJA RCM PARA EXCAVADORA PARA SISTEMA DE IMPLEMENTOS DE LA EXCAVADORA 345CL CATERPILLAR

HP
TP
CR
FA
HR

LEYENDA
Hora de parada
Tarea programada
Costo de reparación
frecuencia anual de falla
Horas de reparación

Ocurrencia **O** Nivel de ocurrencia de 0 a 10
Detección **D** Nivel de detección de 0 a 10
Severidad **S** Nivel de severidad en costos 0 a 10
Ambiental **A** Nivel de impacto al ambiente de 0 a 10

Ocurrencia
10. Muy Alta
8. Alta
6. Moderada
3. Baja
1. Remota

Detección
10. Indetectable
8. Remoto
6. Bajo
3. Altamente detectable
1. Fácilmente detectable, totalmente controlable

Severidad
10. Impacto muy alto
7. Alto impacto
3. Impacto moderado
5. Bajo impacto
1. ningún impacto

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	Subito, Gradual, Infantil, Aleatorio, Edad	Sint.	EFECTO DE FALLA	O	D	S	TOTAL	TAREA	DESCRIPCION DE LA TAREA	RESPONSABLE	FRECUENCIA	TIEMPO DE INTERVENCION (Hrs)	TOTAL MLD	COSTO M.O ANUAL (USD)	COSTO DE REPUERTOS (USD)	PERIODA X INTERVENCION (USD)	COSTO DE OPORTUNIDAD + LUCRO CEBAnte ANUAL (USD)
MANGUERAS	Fugas	Roco	Gradual	Sint. Fuga de aceite, caída de presión HP: 1 hora TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 16 a 30 veces	9 6 9 24	PREDICTIVA PREVENTIVA PROACTIVA	Evaluar tiempo de vida útil de las mangueras para su reemplazo. Inspeccion periódica de la condición de mangueras Asegurarse de la existencia de acoplamientos rápidos, bridas y codos	Monitor de Condiciones Tecnico de Mangueras Mecanico I	Quincenal Semanal Semanal	2 1 0.5	32.60 12.00 12.55	\$793.27 \$624.00 \$652.60	\$568.86	\$2,844.29	\$147,903.08				
		Rotura	Gradual	Sint. Sistema de implementos inoperativo HP: 2 a 3 horas TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 2 a 3 veces	3 4 8 15	PREVENTIVA	Inspeccion periodica de la condición de mangueras	Tecnico de Mangueras	Semanal	1	12.00								
		Fatiga de material	Gradual	Sint. Sistema de implementos inoperativo HP: 2 a 3 horas TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 12 a 16 veces	7 8 8 23	PREDICTIVA PREVENTIVA	Evaluar tiempo de vida útil de las mangueras para su reemplazo. inspeccion periodica de la condición de mangueras	Monitor de Condiciones Tecnico de Mangueras	Mensual Semanal	2 1	32.60 12.00								
		Mala instalacion	Infantil	Sint. Sistema de implementos inoperativo HP: 1 hora TP: Cambio de sellos O-ring, D-ring CR: 1000 US\$ FA: 12 a 16 veces	7 10 8 25	PROACTIVA PROACTIVA PROACTIVA	Programar adiestramiento en reparacion de fugas hidraulicas Asegurarse de la existencia de Kits de Oring y D-rings Asegurarse de tener las herramientas para el reemplazo de kits	Jefe de Mantenimiento Planner de Mantenimiento Tecnico de Mangueras	Anual Semanal Diario	48 0.5 0.2	1182.90 6.00 11.50	\$1,182.90 \$312.00 \$4,197.50							
		Mala fabricacion	Infantil	Sint. Fuga excesiva de aceite e implementos inoperativ HP: 1 hora TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 12 a 16 veces	7 10 8 25	PROACTIVA PROACTIVA	Verificar el material y procedimiento de prensado Verificar que se cumpla la inspeccion de la condición de mangueras	Tecnico de Mangueras Supervisor de mantenimiento	cada ensamble de man Quincenal	0.5 0.5	3.00 5.15	\$1,095.00 \$123.32							
		Sobrepresion	Aleatorio	Sint. Fuga excesiva de aceite e implementos inoperativ HP: 2 a 3 horas TP: Evaluacion y medicion de presiones, calibracion CR: 2000 a 4000 US\$ FA: 2 a 3 veces	3 9 9 21	PREDICTIVA	Medicion de presiones, calibracion y ajustes.	Monitor de Condiciones	Quincenal	1	16.30	\$396.63	\$568.86	\$2,844.29	\$68,211.06				
		Vida util	Edad	Sint. Fuga excesiva de aceite e implementos inoperativ HP: 1 hora TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 2 a 3 veces	3 8 9 20	PREDICTIVA PREVENTIVA	Evaluar tiempo de vida útil de las mangueras para su reemplazo. Inspeccion periódica de la condición de mangueras	Monitor de Condiciones Tecnico de Mangueras	Quincenal Diario	2 1	32.60 12.00								
	Agrupamiento	Alta temperatura	Gradual	Sint. Sistema de implementos inoperativo HP: 2 a 3 horas TP: Cambio de manguera CR: 4000 a 6000 US\$ FA: 2 a 3 veces	3 8 8 19	PREDICTIVA PREVENTIVA	Evaluar tiempo de vida útil de las mangueras para su reemplazo inspeccion periodica de la condición de mangueras	Monitor de condiciones Tecnico de mangueras	Quincenal Semanal	2 1	20.60 12.00	\$501.27							
		Contaminacion	Gradual	Sint. Sistema de implementos inoperativo HP: 6 a 8 horas TP: Cambio de manguera CR: 8000 a 16000 US\$ FA: 2 a 3 veces	2 2 7 11	CORRECTIVA CORRECTIVA	Limpeza total del sistema hidraulico Reemplazo cuando falle	Supervisor de mantenimiento Mecanico I	Semestral Cuando falle	72 4	2037.60 18.00	\$4,075.20 \$36.00	\$10,239.44 \$2,275.43	\$204,788.88 \$11,377.16	\$409,577.76 \$22,754.32				
		Falla del producto	Infantil	Sint. Fuga excesiva de aceite e implementos inoperativ HP: 1 hora TP: Cambio de manguera CR: 1000 US\$ FA: 2 a 3 veces	2 8 9 19	PREVENTIVA PREDICTIVA	Inspeccion periodica de la condición de mangueras Evaluar tiempo de vida util de las mangueras para su reemplazo.	Tecnico de Mangueras Monitor de Condiciones	Semanal Quincenal	1 2	6.00 32.60	\$312.00							

APÉNDICE B: Glosario de términos

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Activo físico: Se define como todo objeto o bien material que posee una persona natural o jurídica, tales como maquinarias, equipos, edificios, muebles, vehículos, materias primas, productos en proceso, herramientas.

Anfo: Es un explosivo de alto orden. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo, desde gasolinas a aceites de motor. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad.

Booster: Es un producto para uso en la minería como iniciador de voladura compuesto por un explosivo mezcla de pentrita y TNT o hexolita y TNT. Dadas sus características generales puede ser iniciado con detonador de explosivos lentos.

Consecuencias de la falla: Es la evaluación del impacto sobre la organización o sus componentes.

Disponibilidad: Proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado.

Efectos de Falla: Consiste en la descripción de lo que ocurre en cada modo de falla.

EDT: Acrónimo que señala la estructura de descomposición de trabajo.

Falla: Defecto material de una cosa que merma su estado. Vistos en los equipos y sistemas se entiende como desviación de lo esperado.

Falla funcional: Incapacidad de cualquier activo físico de cumplir su función.

Fiabilidad: Probabilidad de que un equipo desarrolle una función específica, bajo unas condiciones específicas durante un tiempo determinado.

FMECA (Failure mode, effects, and criticality analysis): Es el análisis de Modos de Fallas, Efectos y Criticidad.

Función: Es el propósito o misión de un activo físico.

Indicadores: Son valores que nos sirven para saber como estamos respecto de los objetivos.

KPI (Key Performance Indicator): Son indicadores que miden el nivel del desempeño de un proceso, enfocándose en el "cómo" e indicando como de buenos son los procesos, de forma que se pueda alcanzar el objetivo fijado.

Lixiviación: Es el proceso en el que un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno de los componentes del sólido.

Mejorabilidad: Término definido por TWPL (The Woodhouse Partnership Limited) como posibilidad de mejoramiento adecuado según jerarquías.

Modos de Falla: Es cualquier evento que pueda haber causado el estado de falla en el equipo.

Pad: Nombre con el cual se conocen a las pilas o plataformas de lixiviación.

Palas hidráulicas: Equipos de maquinaria pesada utilizada en el proceso de carguío y cuyo sistema de implementos está basado en un sistema hidráulico.

Planificación: Es un proceso de toma de decisiones para alcanzar un futuro deseado, teniendo en cuenta la situación actual y los factores internos y externos que pueden influir en el logro de los objetivos.

PM: Mantenimiento preventivo.

PdM: Mantenimiento Predictivo

Proceso: Se denomina proceso al conjunto de acciones o actividades sistematizadas que se realizan con un fin, un objetivo.

RPN (Número prioritario de riesgo): Los números de prioridad del riesgo no son una parte importante de los criterios de selección de un plan de acción contra los modos de falla. Es más bien un parámetro de ayuda en la evaluación de estas acciones.