

**DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO DEL  
SISTEMA DE TRITURACIÓN DE CARBÓN DE UNA EMPRESA DEL SECTOR  
MINERO BASADO EN RCM.**

**OMAR MORA MUNARES  
CARLOS PADILLA MURCIA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2018**

**DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO DEL  
SISTEMA DE TRITURACIÓN DE CARBÓN DE UNA EMPRESA DEL SECTOR  
MINERO BASADO EN RCM.**

**OMAR MORA MUNARES  
CARLOS PADILLA MURCIA**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en gerencia de mantenimiento**

**Director:**

**PEDRO DÍAZ GUERRERO**

**Magíster En Métodos Numéricos Aplicados Al Cálculo y Construcción de  
Elementos Triangulares de Tensión y Deformación Plana con KRATOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	14
1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	15
1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	15
1.3 ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO .....	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. OBJETIVOS.....	22
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
5. MARCO TEÓRICO .....	23
5.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD .....	24
5.2 ORIGEN DEL RCM.....	25
5.2.1 Las siete preguntas básicas del RCM.....	26
5.2.2 Función .....	26
5.2.3 Tipos de funciones .....	26
5.2.4 Falla funcional.....	27
5.2.5 Modos de falla (Causas de falla).....	27
5.2.6 Efectos de las fallas .....	28
5.2.7 Consecuencias de las fallas.....	28
5.2.8 Sistema de trituración .....	28
5.2.9 Tolva principal.....	28
5.2.10 Feeder de placas .....	29
5.2.11 Unidad hidráulica Haggglunds .....	30

5.2.12 Sizer 1.....	31
5.2.13 Conveyor BC01.....	33
5.2.14 Magneto BC01.....	34
5.2.15 Sizer 2A / 2B.....	34
5.2.16 Muestreador BC02.....	35
5.2.17 Partes Muestreador BC02.....	37
5.2.18 Conveyor BC02.....	38
5.2.19 Stacker Mayer.....	39
5.2.20 Subestación 2.....	40
5.2.21 Distribución de equipos del sistema de trituración.....	41
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
6.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	42
6.2 ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	49
6.2.1 Definición de taxonomía y fronteras.....	49
6.2.2 Definición de funciones.....	52
6.3 ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS, EFECTOS Y RIESGOS.....	55
6.3.1 Tabla Análisis FMECA.....	57
6.4 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.....	85
6.5 ANÁLISIS DE COSTOS.....	93
7. CONCLUSIONES.....	94
8. RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS.....	98

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación geográfica .....	16
Figura 2. Organigrama del departamento de mantenimiento.....	17
Figura 3. Tolva Principal .....	29
Figura 4. Vista Lateral de la Tolva .....	29
Figura 5. Cola Feeder de placas.....	30
Figura 6. Vista lateral Feeder de placas .....	30
Figura 7. Unida Hidráulica Haggglunds .....	31
Figura 8. Ejes Sizer 1.....	31
Figura 9. Sizer 1.....	32
Figura 10. Primera etapa del sistema de trituración.....	32
Figura 11. Conveyor BC01 .....	33
Figura 12. Magneto BC01 .....	34
Figura 13. Sizer 2B .....	35
Figura 14. Rodillos Sizer 2B .....	35
Figura 15. Sistema de muestreo BC02 .....	36
Figura 16. Cortadora primaria .....	37
Figura 17. Cortadora secundaria .....	37
Figura 18. Triturador .....	38
Figura 19. Conveyor BC02 .....	39
Figura 20. Boom del Staker Mayer .....	40
Figura 21. Subestación 2 .....	40
Figura 22. Distribución de equipos del sistema de trituración.....	41
Figura 23. Históricos DOWN de la unidad UH Haggglunds .....	44
Figura 24. Pareto sistema de trituración .....	45

Figura 25. Curva P-F de la unidad UH Haggglunds.....	47
Figura 26. Taxonomía unidad de trituración .....	50
Figura 27. Definición de Fronteras unidad UH Haggglunds.....	51
Figura 28. Definición las funciones de los elementos de trabajo .....	53
Figura 29. Matriz de Riesgos .....	56
Figura 30. Diagrama de decisiones .....	68
Figura 31. Distribuciones de tareas .....	86

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Conveyor BC01 .....	33
Tabla 2. Conveyor BC02.....	38
Tabla 3. Tabla Análisis FMECA .....	57
Tabla 4. Definición de tareas .....	70
Tabla 5. La estrategia de mantenimiento se definió de la siguiente forma .....	85
Tabla 6. Plan estratégico de mantenimiento .....	88

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Informe HSC191017-007CAL, Servicio de Evaluación y Diagnóstico del sistema hidráulico Hagglunds de la Mina Calenturitas de acuerdo con orden 4210042391 .....	98
ANEXO B. Análisis de costos .....	104

## RESUMEN

**TÍTULO:** DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN DE CARBÓN DE UNA EMPRESA DEL SECTOR MINERO BASADO EN RCM.\*

**AUTORES:** OMAR MORA MUNARES\*\*  
CARLOS PADILLA MURCIA

**PALABRAS CLAVES:** Reliability Centred Maintenance. Proceso de trituración. SAE JA 1011. SAE JA 1012. Unidad Hidráulica.

### DESCRIPCIÓN

El objetivo de esta monografía es implementar la metodología Reliability Centred Maintenance (RCM), que consiste en determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc.

Las normas SAE JA1011 de 1999 y SAE JA 1012 constituyen los criterios mínimos que debe cumplir un proceso de análisis de fallos para poder ser denominado un proceso RCM.

Con la utilización e implementación de estos criterios se procuró el análisis de fallos existentes en el proceso de trituración de la empresa CI Prodeco; compañía ubicada en el departamento del Cesar, entre los Municipios de Becerril, el paso y la Jagua; su puerto está localizado en Santa Marta, siendo su actividad principal la extracción de carbón desde el yacimiento o mina llamada Calenturitas, una mina a cielo abierto con capacidad actual de 11 millones de toneladas de carbón.

Lo anterior permitió identificar el origen de las fallas, ubicando principalmente la misma en la unidad hidráulico Hagglands, y dentro de la unidad hidráulica el componente más crítico el motor hidráulico Hagglands.

Finalmente, a fin de mitigar los efectos colaterales se propuso la creación de un plan estratégico de mantenimiento para el sistema de trituración.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Director: Pedro Díaz Guerrero, Ingeniero Mecánico

## ABSTRAC

**TITLE:** DEVELOPMENT OF THE STRATEGIC PLAN FOR MAINTENANCE OF THE CARBON TRIPURATION SYSTEM OF A MINING SECTOR BASED ON RCM.\*

**AUTHORS:** OMAR MORA MUNARES\*\*  
CARLOS PADILLA MURCIA

**KEYWORDS:** Reliability Centred Maintenance. Crushing process. SAE JA 1011. SAE JA 1012. Hydraulic Unit.

### DESCRIPTION

The objective of this monograph is to implement the Reliability Centred Maintenance (RCM) methodology, which consists in determining which maintenance tasks are appropriate for any physical asset.

The RCM has been used in thousands of companies around the world from large petrochemical companies to the main armed forces of the world using RCM to determine the maintenance tasks of their equipment, including large-scale mining, power generation, oil and derivatives, metal-mechanical, etc.

The SAE JA1011 standards of 1999 and SAE JA 1012 are the minimum criteria that must be fulfilled by a failure analysis process in order to be called an RCM process.

With the use and implementation of these criteria, the analysis of existing faults in the crushing process of CI Prodeco was attempted; company located in the department of Cesar, between the municipalities of Becerril, the pass and the Jagua; its port is located in Santa Marta, its main activity being the extraction of coal from the deposit or mine called Calenturitas, an open pit mine with a current capacity of 11 million tons of coal.

The above allowed to identify the origin of the faults, placing mainly the same in the Haggglunds hydraulic unit, and within the hydraulic unit the most critical component is the Haggglunds hydraulic motor.

Finally, in order to mitigate the collateral effects, the creation of a strategic maintenance plan for the crushing system was proposed.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical - Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Pedro Díaz Guerrero, Mechanical Engineer

## INTRODUCCIÓN

La importancia del carbón mineral para la generación de energía a nivel global, ha forzado a las compañías del sector minero a elaborar programas de producción agresivos, los cuales finalmente se han reflejado en sobrecargas para los sistemas y equipos de producción; de igual forma, el departamento de mantenimiento ha sido afectado por la sobreproducción, lo que ha creado la necesidad de elaborar planes de acción para mitigar los efectos producidos por las fallas en los equipos. De manera que, el uso de las metodologías del mantenimiento es indispensables, nos brindan herramientas para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que intervienen en los procesos.

La presente monografía tiene como propósito implementar la metodología Reliability Centred Maintenance (En adelante RCM), para la identificación y el origen de las fallas, trabajando directamente sobre las causas y efectos; con la finalidad de implementar un plan estratégico de mantenimiento para el sistema de trituración, puntualmente sobre la unidad UH Hagglands, dicha unidad es históricamente la que más fallas ha reportado en las estadísticas de mantenimiento generando con ello pérdidas económicas a causa de las paradas imprevistas que se han originado en la cadena de producción.

Para el desarrollo de la metodología se conformó un equipo interdisciplinario, con la finalidad de caracterizar el sistema de manera precisa, para definir las fronteras y taxonomía de la unidad.

A través de este desarrollo se efectuó un análisis detallado de los modos de fallas y riesgos que amenazan la integridad de la unidad, lo que finalmente, permitió definir tareas con frecuencias establecidas; a fin de mitigar las consecuencias de las fallas y establecer un plan de mantenimiento estratégico para el sistema analizado.

## **1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 RESEÑA HISTÓRICA**

CI Prodeco nace en 1974, posicionándose rápidamente como la tercera compañía productora de carbón en el país que realiza exportaciones a los Estados Unidos y a varios países de Europa; desde 1989 CI Prodeco S.A., extrae carbón desde el yacimiento o mina llamada Calenturitas, una mina a cielo abierto con capacidad actual de 11 millones de toneladas de carbón.

### **1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

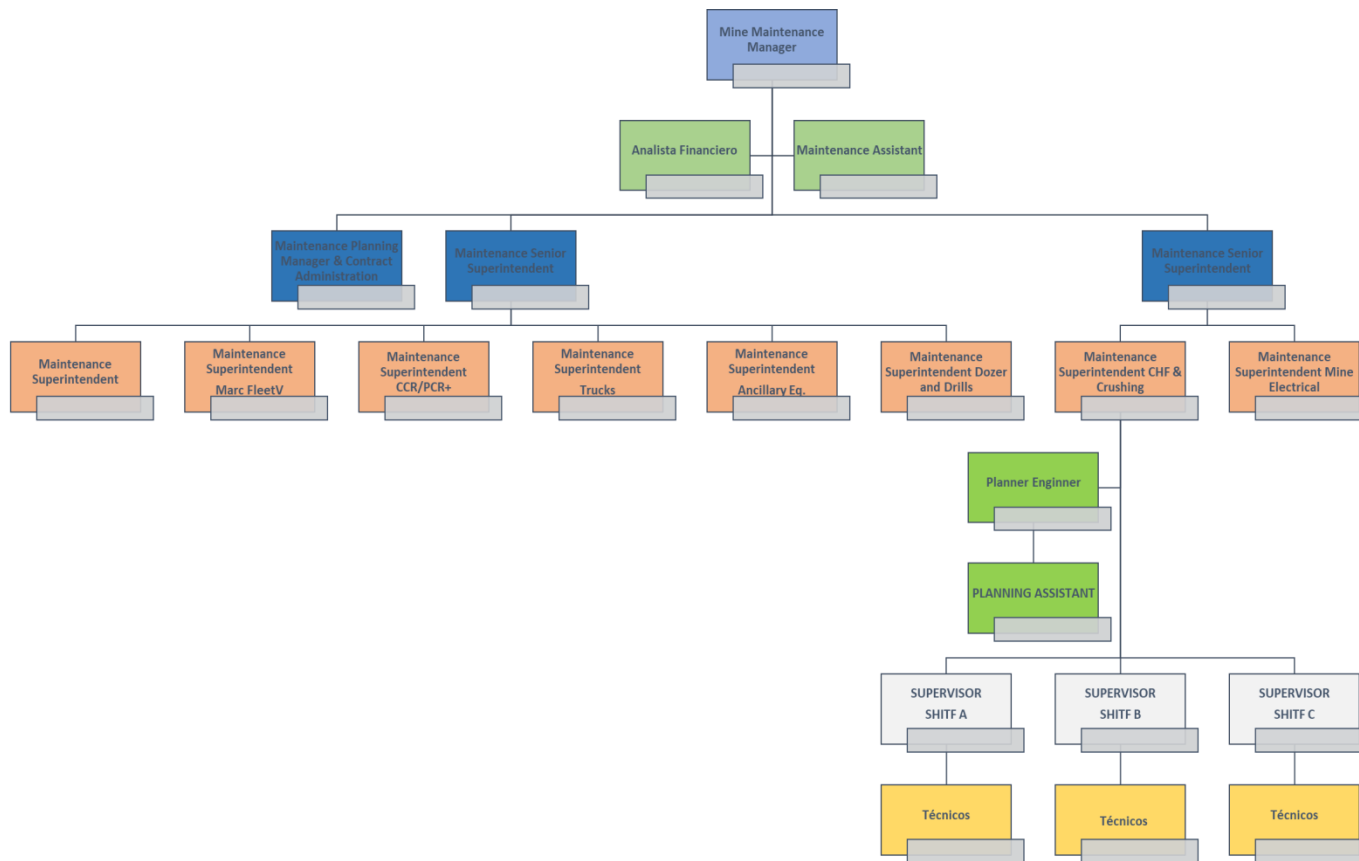
Se encuentra ubicada en el departamento Cesar, entre los Municipios de Becerril, el paso y la Jagua; su puerto está localizado en Santa Marta. Diariamente se transporta desde la mina hasta puerto 45 mil toneladas de carbón a través de vía férrea.

Figura 1. Ubicación geográfica



### 1.3 ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Figura 2. Organigrama del departamento de mantenimiento



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Departamento de Energía de los Estados Unidos plantea a través de la oficina de administración de la información de la energía<sup>1</sup> que en el corto plazo se presentará estabilidad de los precios del carbón, todo ello con base en el supuesto de que los escenarios de demanda presentarán una reducción debida en primera instancia a la caída de los precios del gas a nivel mundial.

Ahora bien, en el mercado local, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) estima que los precios del carbón deberían tener una reducción a una proyección de corto plazo comprendida entre los años 2016 a 2018, estimando precios que oscilarían entre los 42 y 52 US\$/Tonelada. A diferencia de años anteriores, que se manejaban márgenes con un tope de 180 US\$/Tonelada.

Así mismo, plantea la entidad citada que esta dinámica del mercado dejaría los precios del carbón en el corto plazo en un valor cerca de los US\$40/tonelada. (Brent, 2016). Entre otras situaciones importantes para destacar, está la condición dada por la producción de carbón en los Estados Unidos, que refleja una reducción considerable en la producción de carbón, esta tendencia se ha hecho notable desde el segundo semestre del año 2015 con una marcada reducción en los años posteriores, marcando producciones estimadas con un máximo de 75 MMst (Million Short Tons).<sup>2</sup>

Así mismo, los consumos de combustibles de las plantas generadoras de electricidad indican una reducción notable en el consumo de carbón, esta tendencia se ha venido presentando desde el 2008; donde se tenía una tasa de consumo

---

<sup>1</sup> OUTLOOK, S. E., BRENT, N. S., BRENT, F., WEST, F., Intermediate, T., Prices, M., Hub, F. H. Short-Term Energy Outlook (STEO). 2017

<sup>2</sup> *Ibíd.*

porcentual del 48.2% y se ha marcado en años posteriores; para el año 2017 se estimó que el consumo del carbón para la generación de electricidad es del 33%.

Con lo anterior, se puede observar que aunque el valor del carbón ha disminuido de manera considerable aún existe un mercado potencial para el producto; la demanda se mantiene constante en las plantas de generación de electricidad en EEUU.<sup>3</sup>

Ahora bien, en el mercado nacional el grueso de la producción está liderado por los proyectos ubicados al norte del país; la loma, el descanso, calenturitas y el cerrejón, el índice de la producción nacional asciende 23'231.969,47 de toneladas de carbón, situación nada despreciable si se estima que valor promedio como ya se dijo bordea los 40USD.

Teniendo estas cifras en mente la gerencia de mantenimiento de la empresa CI Prodeco ha pedido a sus colaboradores desarrollar proyectos de ahorro de costo a mediano y largo plazo.

La planta de carbón de dicha empresa se encuentra dividida en 3 sistemas; trituración, recepción y cargue de carbón con el fin de comercializar este producto en los mercados internacionales.

Rata de trituración	:	2200 TPH
Producción diaria promedio	:	40,000 toneladas.
Rata de cargue	:	4000 TPH
Transporte de carbón diario	:	45,000 toneladas

---

<sup>3</sup> *Ibíd.*

El sistema de trituración se encuentra conformado por tolva, un apron feeder, una unidad hidráulica, dos transportadores, dos etapas de trituración, un stacker lineal, un muestreador mecánico y un separador magnético.

La operación del sistema de trituración ha sido afectada por fallas repetitivas y prematuras en el motor hidráulico (Pertenece a la unidad hidráulica Hagglands) de accionamiento del apron feeder impactando negativamente la producción, debido a la cantidad de horas que el sistema ha estado fuera de línea, generando altos costos no presupuestados.

En estos momentos la planta de carbón de esta empresa no ha desarrollado un plan estratégico de mantenimiento que garantice confiabilidad en este componente y que permita mejorar la producción en el sistema de trituración.

Por lo anterior, se hace necesario desarrollar un proyecto que implemente un plan estratégico de mantenimiento que a su vez permita determinar los componentes más críticos y su accionar dentro del proceso productivo.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El sistema de trituración de las empresas que explotan y comercializan carbón es de gran importancia para su proceso, ya que en él se recepciona el carbón extraído de la operación minera para ser procesado hasta el tamaño de grano final exigidos por los clientes a la rata de producción requerida por el departamento de producción y logística de la compañía.

El sistema de trituración debe operar 24 horas al día con una productividad de 2200 Toneladas/hora con lo que se obtiene una producción mensual estimada de un millón de tonelada al mes, con un valor estimado de la tonelada según el mercado internacional de entre 40 y 49 USD, con estos datos se puede decir que por unas horas de parada de planta la empresa deja de percibir un valor 107.800 USD.

La parada de la planta o el tiempo fuera de servicio genera un alto impacto a la operación produciendo sobre costos en el proceso.

Ahora bien, la empresa posee planes de mantenimiento definidos y establecidos los cuales se cumplen a cabalidad, la situación identificada representa un problema que los planes de mantenimiento actual no han sido capaces de caracterizar y suprimir.

En este orden de ideas se plantea la necesidad de aplicar la metodología RCM a los componentes más críticos dentro del sistema de trituración con el objeto de identificar actores, causas, consecuencias y acciones de mejora que redunden en la disminución de las paradas no programadas de planta que son las impactan de manera directa el proceso productivo.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo a los componentes más críticos del sistema de trituración de una empresa del sector minero del norte del país.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los componentes más críticos del sistema de trituración de una empresa del sector minero en el norte del país.
- Aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM preventivo al componente más crítico del sistema de trituración.
- Realizar el árbol lógico y actualizar el plan de mantenimiento.
- Realizar un análisis de modo y efecto de falla del sistema más crítico.

## 5. MARCO TEÓRICO

La primera generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial, en esos días la industria no estaba muy mecanizada por lo que los períodos de paradas no importaban mucho, la maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado; esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar, como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

La segunda generación durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente, los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización.

Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos.<sup>4,5</sup> las empresas habían comenzado a depender de ellas; al aumentar esta dependencia el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente; esto llevó a la idea de que las fallas se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento a la concepción del concepto del mantenimiento programado.

En los años 60 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos. El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar sistemas de control y planeación del mantenimiento. Estos han ayudado

---

<sup>4</sup> ORTIZ PLATA, D. Organizaciones del mantenimiento: mantenimiento centrado en confiabilidad. (U. I. de Santander, Ed.). Universidad Industrial de Santander. 2008.

<sup>5</sup> DESHPANDE, V., & MODAK, J. Application of RCM to a medium scale industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 77(1), 31–43. 2002b. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00011-X)

a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

La tercera generación, desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así: Nuevas expectativas: El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta.<sup>6</sup>

Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento. Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento. Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

## **5.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability-Centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace

---

<sup>6</sup> DESHPANDE, V., & MODAK, J. Application of RCM for safety considerations in a steel plant. *Reliability Engineering & System Safety*, 78(3), 325–334. 2002a. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00177-1](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00177-1)

más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

## 5.2 ORIGEN DEL RCM

En 1960 el gobierno de los EEUU formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la Agencia Federal de Aviación y de las aerolíneas, para investigar las capacidades del mantenimiento preventivo. Esos primeros estudios, dirigidos por Stanley Nowlan y Howard Heap, originaron el RCM, de las palabras en inglés Reliability Centred Maintenance, traducido al español como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y fue el título del informe que presentaron sobre los procesos para preparar los programas de mantenimiento para aeronaves. La aplicación de los criterios de RCM permitió bajar la incidencia en los noventa a razón de dos accidentes graves con fatalidades por cada millón de despegues.

En la década de los ochenta, la técnica RCM<sup>7,8</sup> a penetrar en la industria en general John Moubray y sus asociados fueron pioneros en elaborar una rigurosa metodología de aplicación de esta técnica en la industria, comenzaron a trabajar en

---

<sup>7</sup> MOUBRAY, J. Mantenimiento centrado en confiabilidad. (ALADON, Ed.). ALADON. 2004.

<sup>8</sup> SUBCOMMITTEE, P. A., ENDRENYI, J., ABORESHEID, S., ALLAN, R. N., ANDERS, G. J., ASGARPOOR, S.... Singh, C. The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability, 16(4), 638–646. 2001.

los sectores de la minería y manufacturas, usaron una versión levemente modificada del diagrama de Nowlan y Heap, dando lugar a RCM2.

Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

**5.2.1 Las siete preguntas básicas del RCM.** Según la norma SAE JA 1011 las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuál es la función?, Lo que el usuario desea que la máquina haga.
2. ¿Cuál es la falla funcional?, Razones por las que deja de hacer lo que el usuario desea que haga.
3. ¿Cuál es el modo de falla?, Que pudo causar la falla funcional.
4. ¿Cuál es el efecto de la falla?, falla?, Que ocurre cuando la falla se produce.
5. ¿Cuál es la consecuencia de la falla?, Razones por las que importa que falle.
6. ¿Qué se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?
7. ¿Qué se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?

**5.2.2 Función.** Es lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer.

### **5.2.3 Tipos de funciones**

**Funciones primarias**, que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

**Funciones secundarias,** Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.

**5.2.4 Falla funcional.** Se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

**5.2.5 Modos de falla (Causas de falla).** El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir. Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

**5.2.6 Efectos de las fallas.** Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario. El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

**5.2.7 Consecuencias de las fallas.** Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla. La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar las fallas.

**5.2.8 Sistema de trituración.** El sistema de trituración está compuesto por subsistemas que definiremos a continuación:

**5.2.9 Tolva principal.** Es la encargada de la recepción y canalización del carbón suministrado por camiones de 80 Toneladas procedente de la mina. Con un área de 600 m<sup>2</sup>, las paredes internas están recubiertas con láminas anti desgaste CR-12 de una aleación de Cromo e inoxidable resistente a la corrosión y abrasión, la cual protege la estructura base. Posee un sistema aspersion y una carpa resistente al fuego (80 grados centígrados) en la parte superior para mitigar el polvillo de carbón durante el descargue de los camiones.

**Figura 3. Tolva Principal**



**Figura 4. Vista Lateral de la Tolva**



**5.2.10 Feeder de placas.** El alimentador de placas serie 712 de la marca MMD presenta una cadena de tractor D7, de alta resistencia con una construcción de acero endurecido sellada y lubricada de por vida, con 105 zapatas ubicadas en la parte superior de cada eslabón.

El alimentador es accionado por un motor Hidráulico Marca Haggglunds con el fin de transportar el carbón desde la tolva principal hasta el Sizer 1 o trituradora primaria.

**Figura 5. Cola Feeder de placas**

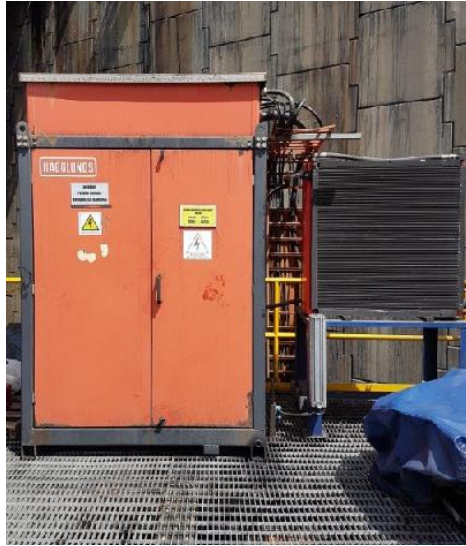


**Figura 6. Vista lateral Feeder de placas**



**5.2.11 Unidad hidráulica Hagglunds.** La unida Hidráulica Hagglunds es la encargada de suministrar el caudal y la presión de aceite necesarios en el momento oportuno al motor hidráulico que mueve el eje motriz del FEEDER de placas. Esta Unidad tiene una bomba de modelo de pistones axiales, caudal variable para sistemas en circuito cerrado, accionadas por un motor eléctrico de 250 HP.

**Figura 7. Unida Hidráulica Hagglunds**



**5.2.12 Sizer 1.** Sizer 1 o Trituradora Primaria es una clasificadora MMD de la serie 625 de 3 metros, consta de dos ejes rotativos que tienen acoplados los dientes de clasificación apropiados o picas, que hacen pasar todo el producto (tanto los finos como los gruesos) a través de la clasificadora. Los finos de carbón pasan por los dientes rotativos sin degradarse más, mientras que los gruesos son triturados a un menor tamaño. Cada eje es impulsado por un motor de 200 HP mediante un acople hidráulico y una caja reductora.

**Figura 8. Ejes Sizer 1**



**Figura 9. Sizer 1**



**Figura 10. Primera etapa del sistema de trituración**



**5.2.13 Conveyor BC01.** Este CONVEYOR es el encargado de recibir el carbón del Sizer#1 y transportarlo hasta la segunda etapa de Trituración sobre una banda de 60 pulgadas de ancho. Es impulsado por un sistema motriz conformado por un motor de 250 HP, un reductor de velocidad y un acople hidráulico. A continuación, se describen las especificaciones:

**Tabla 1. Conveyor BC01**

Capacidad	2700 TPH (Toneladas por hora)
Ancho de banda	60"
Longitud Promedio	140 m
Velocidad(ft/m)	800
Grado de inclinación	20°

**Figura 11. Conveyor BC01**



**5.2.14 Magneto BC01.** Es un electroimán suspendido o separador de potencia de corriente continua para trabajo pesado, marca Eriez modelo SC-2 SE-7925. Ubicado encima del lecho de material móvil del CONVEYOR BC01 con el fin de separar los contaminantes metálicos (Ferríticos) producidos durante el transporte del carbón desde la mina o de las actividades de mantenimiento.

**Figura 12. Magneto BC01**



**5.2.15 Sizer 2A / 2B.** Sizer 2 A /2B o Trituradoras secundarias son una clasificadora MMD de la serie 625 de 4 metros, consta de dos ejes rotativos que tienen acoplados cada uno 64 segmentos, los cuales tienen 5 dientes con los cuales se le da el tamaño final al grano de carbón de aproximadamente 2". Los ejes son impulsados de manera independiente por motores de 350 HP a través de un acople hidráulico y una caja reductora.

**Figura 13. Sizer 2B**



**Figura 14. Rodillos Sizer 2B**



### **5.2.16 Muestreador BC02**

- Muestreo Mecánico es el proceso de recolección, reducción y división de muestras de manera representativa a través de un conjunto de equipos sincronizados. Toda la operación de muestreo cumple con los requerimientos de la Norma ASTM D 7430
- El proceso de muestreo Mecánico posee actividades que se deben cumplir de manera estricta para obtener un buen muestreo. Antes de iniciar la recolección y reducción de muestra se realizan una serie de revisiones a los sistemas tanto interna como externa y de parámetros, cumpliendo con todos los protocolos de seguridad establecidos. Se mantiene un estricto control con la temperatura de los materiales que pasan por los muestreadores.

- Después de recolectar la muestra se sella e identifica, el peso de la muestra recolectada nos da el comportamiento de los sistemas por medio de las proporciones, esta muestra es custodiada hasta ser llevada al laboratorio para su respectivo análisis, se establece una custodia para salvaguardar la calidad del proceso.
- El sistema de muestreo está conformado por tres (3) bandas una banda primaria, una secundaria y una de rechazo; un cortador primario, un cortador secundario y un triturador.
- El carbón es tomado del transportado sobre el CONVEYOR BC02 por el sistema de muestreo primario pasando por la banda primaria hasta la etapa de molienda, posteriormente es entregado a la banda secundaria donde se toma la muestra por el cortador secundario y el carbón remanente es retornado nuevamente al conveyor BC02 por medio de la banda de rechazo.

**Figura 15. Sistema de muestreo BC02**



### 5.2.17 Partes Muestreador BC02

**Figura 16. Cortadora primaria**



**Figura 17. Cortadora secundaria**



**Figura 18. Triturador**



**5.2.18 Conveyer BC02.** CONVEYOR BC02 recibe el carbón del Sizer#2 A o Sizer 2B / 2B y lo entrega al Stacke Mayer sobre una banda de 54 pulgadas de ancho. Es impulsado por dos (2) sistemas motrices, cada uno conformado por un motor de 350 HP, un reductor de velocidad y un acople hidráulico. A continuación, se describen las especificaciones:

**Tabla 2. Conveyer BC02**

Capacidad	3000 TPH (Toneladas por hora)
Ancho de banda	54"
Longitud Promedio	1050 m
Velocidad(ft/m)	848
Grado de inclinación	7.6°

**Figura 19. Conveyor BC02**



**5.2.19 Stacker Mayer.** El STACKER Mayer es el último equipo de la etapa de trituración, toma el carbón del CONVEYOR BC02 y lo apila en el patio de acopio, donde se realizan las mezclas para dar la calidad final requerida por los clientes.

La capacidad de operación máxima es de 3000 toneladas por hora a través del boom de 50 metros de longitud y un Tripper que desliza sobre un riel con la ayuda de 12 ruedas cada una con sistema motriz independiente una de otra.

**Figura 20. Boom del Staker Mayer**



**5.2.20 Subestación 2.** Es la estación eléctrica que alimenta la parte de potencia y control del sistema de Trituración, excepto el CONVEYOR BC02 y el STACKER Mayer, los cuales tienen suministro eléctrico desde la subestación 3.

**Figura 21. Subestación 2**



5.2.21 Distribución de equipos del sistema de trituración

Figura 22. Distribución de equipos del sistema de trituración



## 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 6.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

La unidad de trituración analizada, está compuesto por diversos sub-sistemas, los cuales nombraremos a continuación:

- UH Haggglunds
- BC02
- Sizer 2 A
- Sizer 2 B
- Feeder de Placas
- BC01
- Stacker Mayer
- Muestreador BC02
- Sistemas de Control
- Sizer 1
- Colector de metal BC01
- Tolva principal
- Subestacion #2

De estos sub- sistemas hemos identificado, que el histórico de fallas más alto y registros DOWN, se encuentran en la unidad UH Haggglunds, es a partir de esta información que enfocaremos este subsistema como nuestro objetivo, con la finalidad de aplicar la metodología RCM y definir planes de acciones, para mitigar la aparición de fallas, que dan como resultado perdidas en el contexto operativo y

productivo de la compañía, reflejándose finalmente en pérdidas económicas considerables.

A continuación, adjuntamos los históricos DOWN de la unidad UH Hagglands:

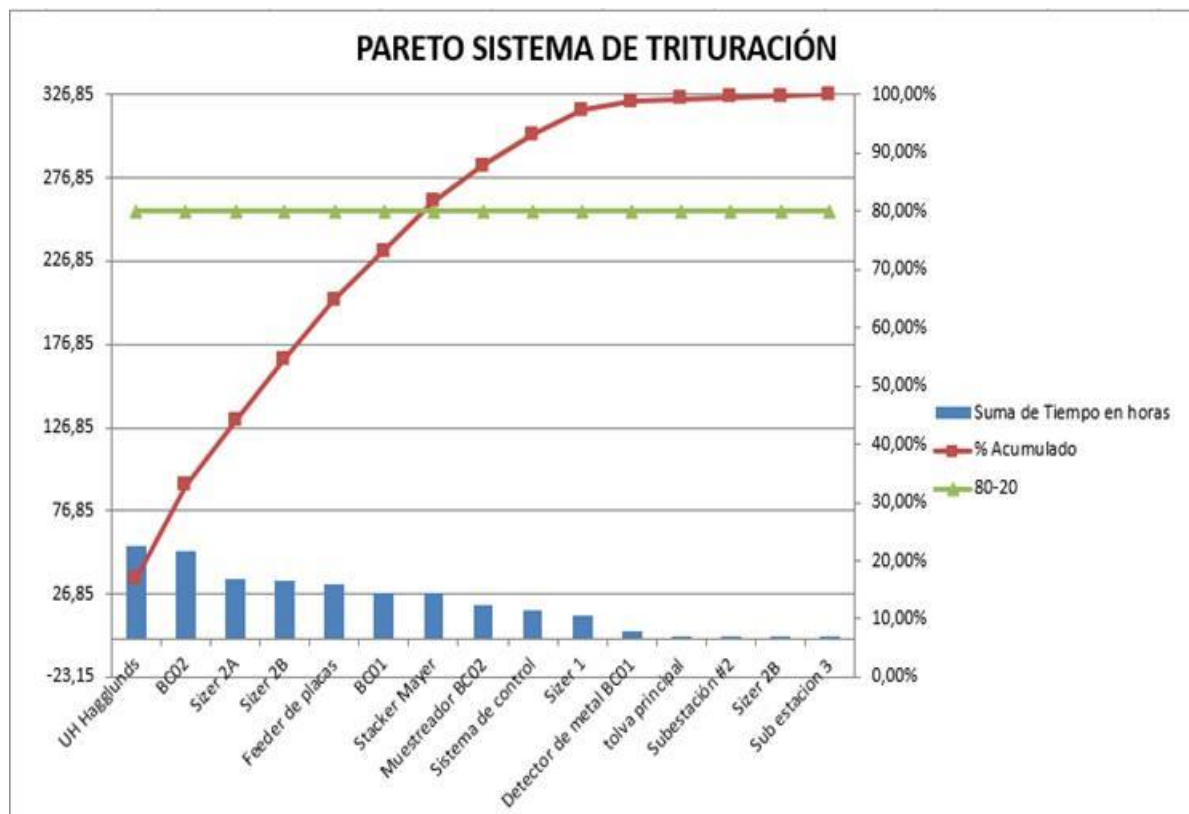
**Figura 23. Históricos DOWN de la unidad UH Haggglunds**

Turno	Sistema	Equipo	Evento	hora inicio down	hora final down	Tiempo en h	Día	Mes	AÑO	Origen del down	Total Evento
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla en la unidad hidraulica feeder	19/03/2015 13:32	19/03/2015 13:54	0,37	19	Marzo	2015	Eléctrico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor UH Haggglunds	24/03/2015 8:30	24/03/2015 18:00	9,50	24	Marzo	2015	Mecanico	1
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor UH Haggglunds	24/03/2015 18:00	25/03/2015 5:59	11,98	24	Marzo	2015	Mecanico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor UH Haggglunds	25/03/2015 6:00	25/03/2015 18:00	12,00	25	Marzo	2015	Falla energia externa	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor UH Haggglunds	25/03/2015 18:00	26/03/2015 5:58	11,97	25	Marzo	2015	Falla energia externa	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla Motor	13/05/2015 8:55	13/05/2015 8:58	0,05	13	Mayo	2015	Eléctrico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla Motor	13/05/2015 9:01	13/05/2015 9:20	0,32	13	Mayo	2015	Eléctrico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla unidad Hidraulica	23/05/2015 9:45	23/05/2015 9:52	0,12	23	Mayo	2015	Eléctrico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla en Motor Unidad Hidraulica	24/07/2015 16:27	24/07/2015 16:40	0,22	24	Julio	2015	Eléctrico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla Motor Feeder	04/08/2015 15:58	04/08/2015 16:43	0,75	4	Agosto	2015	Eléctrico	1
Día	Trituración	UH Haggglunds	La unidad hidraulica UH Haggglunds no inicia	11/01/2016 11:00	11/01/2016 11:06	0,10	11	enero	2016	Eléctrico	Unidad hidraulica UH Haggglunds no inici
Día	Trituración	UH Haggglunds	falla alarma presion hidraulica Feeder de Placas	04/05/2016 15:48	04/05/2016 16:01	0,22	4	mayo	2016	Mecanico	falla alarma presion hidraulica Feeder de P
Día	Trituración	UH Haggglunds	falla alarma presion hidraulica Feeder de Placas	04/05/2016 16:38	04/05/2016 16:41	0,05	4	mayo	2016	Mecanico	falla alarma presion hidraulica Feeder de P
Día	Trituración	UH Haggglunds	falla alarma presion hidraulica Feeder de Placas	04/05/2016 17:34	04/05/2016 17:37	0,05	4	mayo	2016	Mecanico	falla alarma presion hidraulica Feeder de P
Día	Trituración	UH Haggglunds	Alto caudal caja hidraulica motor Feeder de Placas	13/05/2016 13:05	13/05/2016 13:23	0,30	13	mayo	2016	Eléctrico	Alto caudal caja hidraulica motor Feeder d
Día	Trituración	UH Haggglunds	falla UH feeder trituracion Numero de Stard	10/07/2016 9:26	10/07/2016 9:34	0,13	10	julio	2016	Mecanico	falla UH feeder trituracion Numero de Stard
Noche	Trituración	UH Haggglunds	falla control automatico de velocidad feeder y BCO1	14/07/2016 20:29	14/07/2016 20:41	0,20	14	julio	2016	Eléctrico	falla control automatico de velocidad feed
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor feeder	30/07/2016 7:09	30/07/2016 7:13	0,07	30	julio	2016	Eléctrico	Falla motor feeder
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor feeder	30/07/2016 15:07	30/07/2016 15:11	0,07	30	julio	2016	Eléctrico	Falla motor feeder
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor feeder	30/07/2016 16:50	31/07/2016 16:55	0,08	30	julio	2016	Eléctrico	Falla motor feeder
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor feeder	30/07/2016 15:05	30/07/2016 15:08	0,05	30	julio	2016	Mecanico	Falla motor feeder
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Falla motor feeder	31/07/2016 19:09	31/07/2016 19:12	0,05	31	julio	2016	Eléctrico	Falla motor feeder
Noche	Trituración	UH Haggglunds	falla electrica feeder	01/08/2016 18:36	01/08/2016 18:40	0,07	1	agosto	2016	Eléctrico	falla electrica feeder
Noche	Trituración	UH Haggglunds	falla electrica feeder	01/08/2016 23:16	02/08/2016 0:16	1,00	1	agosto	2016	Eléctrico	falla electrica feeder
Noche	Trituración	UH Haggglunds	falla electrica feeder	02/08/2016 0:16	02/08/2016 0:18	0,03	2	agosto	2016	Eléctrico	falla electrica feeder
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla sistema hidraulico motor del Feeder de Placas	09/08/2016 7:32	09/08/2016 7:50	0,30	9	agosto	2016	Mecanico	Falla sistema hidraulico motor del Feeder d
Día	Trituración	UH Haggglunds	Falla sistema hidraulico motor del Feeder de Placas	09/08/2016 8:13	09/08/2016 8:26	0,22	9	agosto	2016	Mecanico	Falla sistema hidraulico motor del Feeder d
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Falla de motor de unidad Hidraulica del Feeder de Placas	10/08/2016 18:25	10/08/2016 18:38	0,22	10	agosto	2016	Eléctrico	Falla de motor de unidad Hidraulica del Fee
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Alta temperatura en el Feeder de Placas	26/08/2016 9:48	26/08/2016 9:59	0,16	26	agosto	2016	Mecanico	Alta temperatura en el Feeder de Placas
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Alta temperatura en el Feeder de Placas	26/08/2016 10:51	26/08/2016 10:58	0,12	26	agosto	2016	Mecanico	Alta temperatura en el Feeder de Placas
Noche	Trituración	UH Haggglunds	Falla sistema hidraulico del Feeder de Placas	21/10/2016 17:06	21/10/2016 18:00	0,90	21	octubre	2016	Mecanico	Falla sistema hidraulico del Feeder de Plac
Día	Trituración	UH Haggglunds	Fuga de Aceite UH Haggglunds	22/10/2016 6:00	22/10/2016 6:18	0,30	22	octubre	2016	Mecanico	Fuga de Aceite Feeder de Placas
Día	Trituración	UH Haggglunds	falla en el motor Feeder de Placas	26/10/2016 12:39	26/10/2016 12:58	0,32	26	octubre	2016	Eléctrico	falla en el motor Feeder de Placas
Día	Trituración	UH Haggglunds	falla en el acople flexible del motor y acople hidraulico	26/10/2016 14:12	26/10/2016 16:50	2,63	26	octubre	2016	Mecanico	falla en el acople flexible del motor y acoplé

Con lo descrito en la tabla anterior, se realiza un análisis de Pareto de cada sub-sistema que se encuentra dentro del sistema de trituración. Es de anotar, que los estudios para desarrollar esta práctica, se realizan con base en la información arrojada por los históricos y ordenes de servicios de mantenimientos anteriormente realizados.

El estudio de Pareto nos arroja los siguientes resultados:

**Figura 24. Pareto sistema de trituración**



Etiquetas de fila	Suma de Tiempo en horas	Suma de % De horas	% Acumulado	80-20
UH Hagglunds	55,50	16,98%	16,98%	80%
BC02	52,32	16,01%	32,99%	80%
Sizer 2A	36,05	11,03%	44,02%	80%
Sizer 2B	34,92	10,68%	54,70%	80%
Feeder de placas	32,97	10,09%	64,79%	80%
BC01	27,78	8,50%	73,29%	80%
Stacker Mayer	27,52	8,42%	81,70%	80%
Muestreador BC02	19,85	6,07%	87,78%	80%
Sistema de control	17,53	5,36%	93,14%	80%
Sizer 1	13,70	4,19%	97,33%	80%
Detector de metal BC01	4,65	1,42%	98,76%	80%
tolva principal	1,47	0,45%	99,20%	80%
Subestación #2	1,35	0,41%	99,62%	80%
Sizer 2B	0,67	0,20%	99,82%	80%
Sub estacion 3	0,58	0,18%	100,00%	80%
<b>Total general</b>	<b>326,85</b>	<b>100%</b>		

Con los resultados obtenidos, se concluye que el sistema de trituración, posee un subsistema crítico que está arrojando valores notables. Con lo anterior, se hace imperativo definir planes de mitigación eficientes, que conlleven a mejoras significativas dentro del proceso. El subsistema UH Hagglunds es de vital importancia, puesto que una parada de esta unidad representa un colapso para la producción.

Del mismo modo, los sub-sistemas que conforman la unidad de trituración, son considerados como elementos críticos, dada la configuración del proceso.

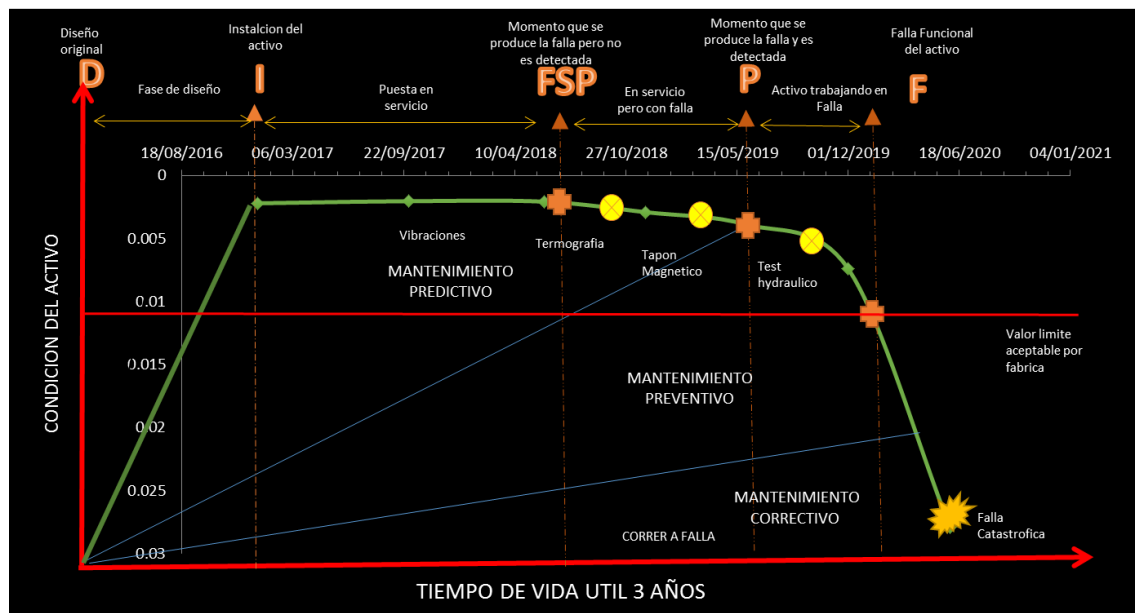
Sin embargo, realizando una recopilación de los históricos, se comprueba que, por esta razón, fue pertinente realizar un estudio más profundo, con la finalidad de determinar de manera cuantitativa, las probabilidades de falla de la unidad.

El estudio aplicado fue la curva P-F, que permite evidenciar como comienza una falla y cuál es su evolución hasta el punto donde la falla es detectable (punto de falla potencial P). A partir de este punto, si no se detecta la falla y no se toman decisiones

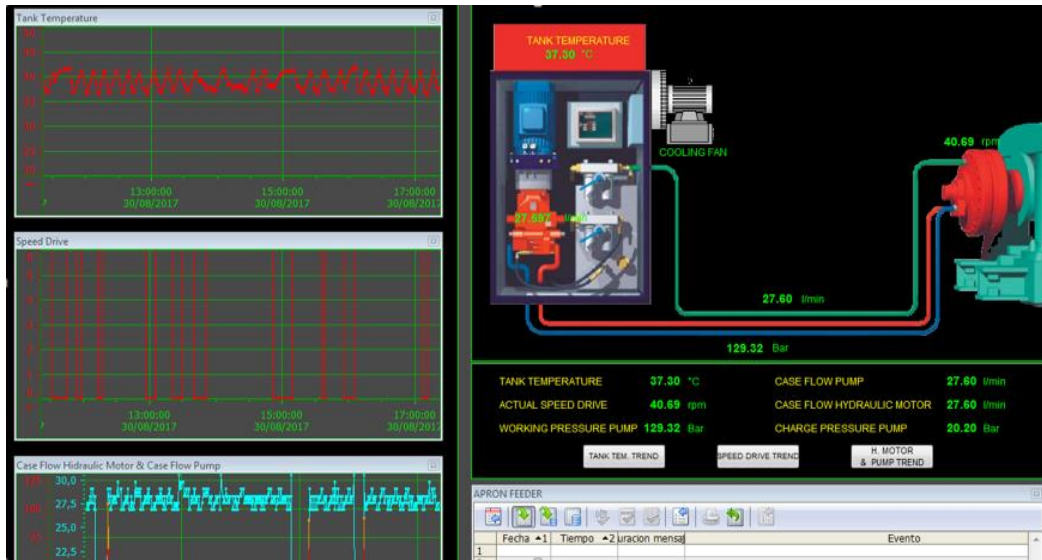
adecuadas, continúa el deterioro, hasta el punto de pérdida de falla funcional del equipo (punto F).

A continuación, se presenta la curva P-F de la unidad UH Haggglunds:

**Figura 25. Curva P-F de la unidad UH Haggglunds**



Fuente Dustin M. Etchison



	01/01/2017	01/10/2017	01/06/2018	01/12/2018	01/06/2019	01/12/2019	01/06/2020
Pcarcaza max.	0,45	0,45	0,45	0,48	0,49	0,5	2,6
Pcarcaza mini.	0,33	0,33	0,33	0,325	0,28	0,1	0
Ptrabajo max.	177,53	178	175	165,69	172	172	176,6
Ptrabajo min.	123	119	117	112,29	118	118	83,4
Gpresion carcaza	0,00220062	0,0020339	0,00206897	0,00290262	0,00388889	0,00740741	0,027897

El intervalo P-F rige la frecuencia con que debe ser realizada la tarea predictiva. El intervalo de chequeo, debe ser sensiblemente menor que el intervalo P-F si se desea detectar el fallo potencial antes de que se convierta en un fallo funcional.

## **6.2 ESTRATEGIA METODOLÓGICA**

**6.2.1 Definición de taxonomía y fronteras.** Para unidad UH Hagglands, considerada como el sistema más crítico en base a los estudios e históricos anteriormente mencionados, definiremos la taxonomía y fronteras, de la siguiente forma:

Figura 26. Taxonomía unidad de trituración

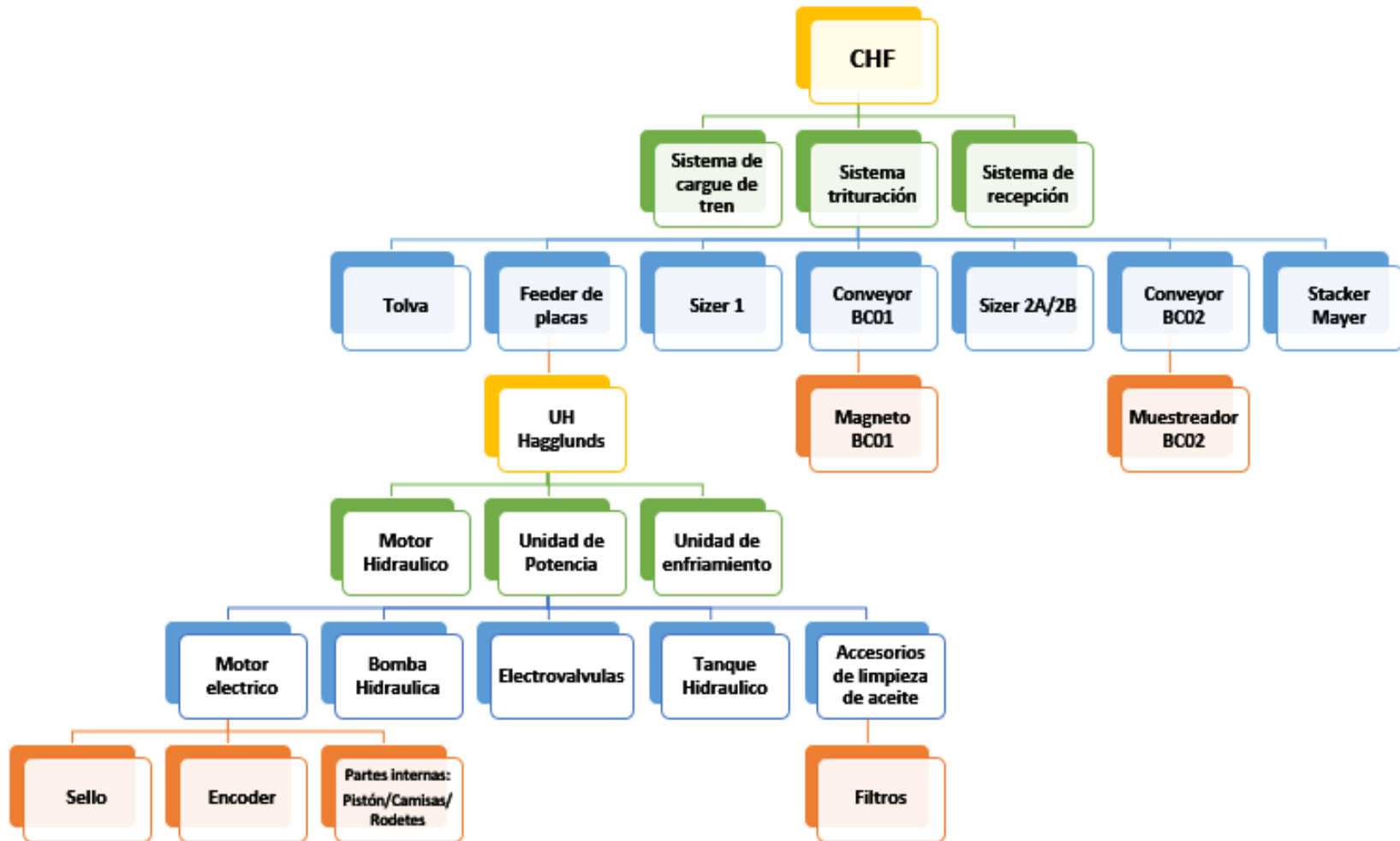
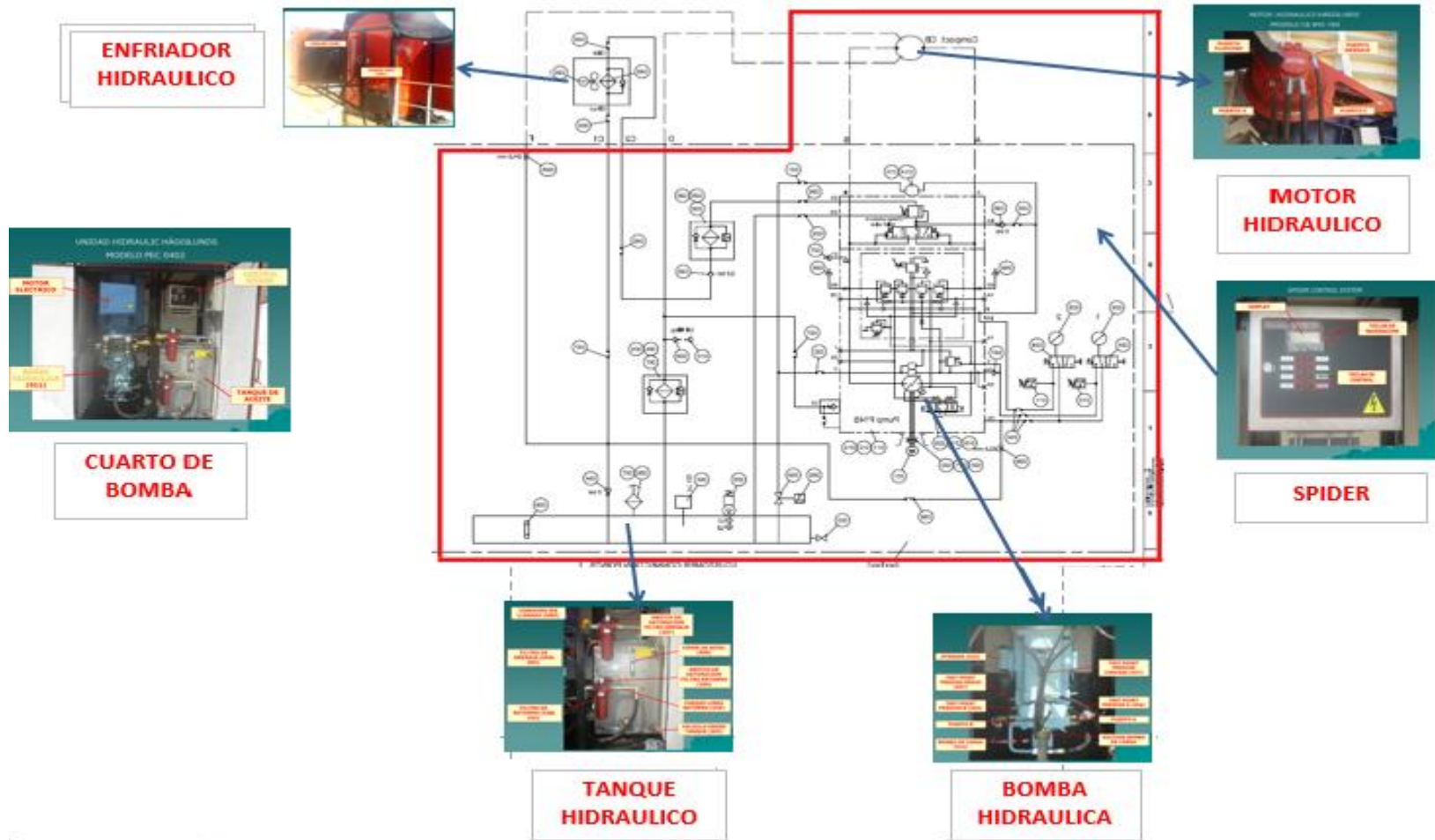




Figura 27. Definición de Fronteras unidad UH Hagglunds.


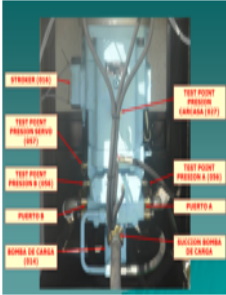


**6.2.2 Definición de funciones.** Los elementos de estudio, corresponden a equipos con una función definida, teniendo en cuenta parámetros de funcionamiento exigidos por un usuario en específico. Del mismo modo, estos elementos de estudio, cuentan con características técnicas donde se definen las exigencias de los equipos, para operar bajo una condición específica, garantizando su buen funcionamiento. No obstante, este tipo de funciones están ligadas a la capacidad de realizar trabajos con tiempos de demanda establecidos. Por esta razón, es importante establecer límites en los tiempos de funcionamiento y ceñirse a las frecuencias de mantenimientos idóneas. Con la finalidad, de no incurrir en fallas producto de las sobre cargas en los equipos que afecten la integridad de los mismos. Es por esta razón, que se deben definir funciones específicas, relacionadas con las características técnicas de los elementos.

A continuación, definiremos las funciones de los elementos de trabajo:

**Figura 28. Definición las funciones de los elementos de trabajo**

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO DE ESTUDIO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	INTERFASES (Entradas / Salidas)	FUNCIONES	
UNIDAD HIDRAULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	PRESION DE TRABAJO: 1800 - 2500 psi	Motor hidraulico recibe presion de una bomba hidraulica para dar movimiento a un feeder de placas en el sistema de trituracion	PRESION DE TRABAJO: 1800-2500	Polución de polvo de carbón	Entrada: presión de 1800 psi	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm para entregar 2000 a 2700 Ton/Hora	
	PRESION DE CARGA: 161,7 a 294 psi		PRESION DE CARGA: 290 - 300 PS	Expuesto a lluvia	Salida: Se requiere alimentar entre 2000 y 2300	Contener aceite hermeticamente	
	VELOCIDAD: 23 a 34 rpm		3 rpm	Expuesto a lavado a presión con agua		Enviar señal de velocidad de trabajo	
	Presion de carcasa: 15 a 43,5psi (Max 116 psi por 5 seg)		Presion de carcasa: 0,27 - 0,45 bar	Derrames de aceite por fugas			
SISTEMA DE POTENCIA HIDRAULICA	Tanque hidraulico con capacidad de 400 gls de aceite, contiene dos filtros uno de alta y otro de retorno		temperatura Max: 45 °C	el tanque esta cubierto en un cuarto de control protegido de la lluvia e inclemencia del tiempo		mantener el aceite hermético limpio sin contaminantes para que pueda trabajar la bomba y motor hidraulico	

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	Descripción del Elemento de Estudio	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	FUNCIONES
SISTEMA DE POTENCIA HIDRAULICA	POTENCIA: 250 HP	Motor electrico mueve una bomba hidraulica Deninson a 240 HP	42HP	Alta polución	Gabinete de Bomba	Entregar potencia Hidraulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max
	VOLTAJE: 480 VAC		480	Temperaturas altas de ambiente	Cableado de potencia	Transmitir señales de temperatura al controlador
	CORRIENTE: 283 A		81A		contactor de Potencia	Transmitir señales de presión al controlador.
	VELOCIDAD NOMINAL: 1780 RPM		1780		Interruptor de Potencia	Transmitir señales de caudal al controlador.
	FRAME: 447TD					Disipar calor generado por los componentes internos.
	ENCERRAMIENTO: IP55					Contener aceite hermeticamente.
	TEMPERATURA AMBIENTE MOTOR: 40°C					Indicar localmente la presión de aceite y nivel de aceite en el
	TEMPERATURA RODAMIENTOS: <80°C					Retener y permitir el retiro de particulas en el aceite para
	TEMPERATURA DE BOBINADO: <70°C					
	VOLUMEN: 400 LTS					
	PRESION MAX: 345 BAR					
	TEMPERATURA: 30-40°C					
	MIN PRESION MANGUERA: 2800 PSI					
			32.3 - 41°C			
SISTEMA DE POTENCIA HIDRAULICA	Presion de funcionamiento Presion minima 1800 PSI, Presion maxima 2500 PSI Caudal 25 a 30 Litros/minuto	Bomba hidraulica trabaja a una presion minima de 1800 PSI con un caudal de 25 a 30 Litros/minuto				
						

### **6.3 ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS, EFECTOS Y RIESGOS**

Identificadas las funciones de los elementos de estudios, se determinarán las fallas funcionales de los elementos de estudio, describiendo como el equipo opera por fuera de los parámetros normales de operación. A demás de lo anterior, se identificarán los modos de fallas y los efectos de la falla sobre los equipos.

La metodología FMEA que contempla el RCM, nos permite realizar un análisis detallado y determinístico, para identificar problemas potenciales dentro de los componentes de los equipos y sus posibles consecuencias.

Las consecuencias de las fallas afectan directa e indirectamente variables dentro de los sistemas, de las cuales podemos enumerar las siguientes:

- Seguridad y medio ambiente
- Producción
- Calidad
- Servicio al cliente

Luego de evaluada las consecuencias de las fallas, se deben jerarquizar y renombrar según su grado de criticidad, teniendo en cuenta el impacto de las consecuencias generadas por el estado de la falla. Así mismo, se debe establecer la probabilidad de ocurrencia de la falla, por medio de la matriz de riesgos que se referencia a continuación:

Figura 29. Matriz de Riesgos

Matriz de Valoración Riesgos para el Negocio										
Daños al personal	Efectos en la poblacion	Impacto ambiental	Perdida de producci	Daño a la instalacion (USD)	1 CADA 10 AÑOS	1 CADA 5 AÑOS	1 CADA 2 AÑOS	1 CADA AÑO	1 CADA SEMESTRE	
					P1	P2	P3	P4	P5	
Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o mas miembros de la	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o mas miembros de la	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales	Mayor de 50 MM	Mayor de 20.000 USD	5	10	15	20	25	C5
Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o mas miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en almenos un miembro de la poblacion.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 5.000 a 20.000 USD	4	8	12	16	20	C4
Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalacion. Requiere suspension laboral	puede resultar en la hospitalizacion de almenos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violacion de leyes y regulaciones, la restauracion puede ser acumulada	De 5 a 15 MM	De 1.700 5 a 5.000 USD	3	6	9	12	15	C3
El personal de la planta requiere tratamiento medico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento medico o primeros auxilios.	Minimo daños ambientales sin violacion de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 200 mil a 1.700 USD	2	4	6	8	10	C2
Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la poblacion	Sin daños ambientales ni violaciones de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 200 USD	1	2	3	4	5	C1
NO HAY CONSECUENCIAS										C0



### 6.3.1 Tabla Análisis FMECA

**Tabla 3. Tabla Análisis FMECA**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico quemado por alto voltaje		La rata de producción baja hasta cero; no; perdida de 1.44 Millones USD, que contienen 12 horas de producción; Bobina quemado; 27.022 USD, que contiene turno de 12 hora de 3 técnicos con uso de camión grúa
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico quemado por falla del aislamiento		La rata de producción baja hasta cero; no; perdida de 1.44 Millones USD, que contienen 12 horas de producción; Bobina quemado; 43 USD, que contiene turno de 12 hora de 3 técnicos con uso de camión grúa

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico quemado por falla del aislamiento		La rata de producción baja hasta cero; no; perdida de 1.44 Millones USD, que contienen 12 horas de producción; Bobina quemado; 25.355 USD, que contiene turno de 4 hora de 3 técnicos con uso de camión grúa
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico bloqueado por rodamientos dañados		La rata de producción baja hasta cero; no; perdida de 1.44 Millones USD, que contienen 12 horas de producción; Bobina quemado; Rodamientos deteriorados; 27.022 USD, que contiene turno de 12 hora de 3 técnicos con uso de camión grúa
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico bloqueado por rodamientos dañados		Afecta la operación en 4 horas de parada con 505,681 USD

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico bloqueado por rodamientos dañados		Afecta la operación en 4 horas de parada con 505,681 USD
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Motor Eléctrico quemado por sobrecarga		no funciona motor hidráulico ; no; perdida de 480.000 USD, que contienen 4 horas de producción; Bobina quemado; 27.022 USD, que contiene turno de 12 hora de 3 técnicos con uso de camión grúa
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos		no funciona motor hidráulico; no; perdida de 1.48 Millones USD, que contienen 12 horas de parada de producción; Desgaste en los componentes internos; 37.790 USD, que contiene turno de 12 hora de 4 técnicos con uso de camión grúa

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos		No funciona el motor hidráulico, alto impacto por parada de producción por 12 horas
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi			Bomba descalibrada por manipulación		Motor no funciona; no; perdida de 120.000 USD, que contienen 1 horas de parada de producción; no se evidencia; 837 USD que contienen 2 HH de Técnicos mecánicos para diagnóstico y calibración, 1 Eléctrico para el diagnóstico de la parte eléctrica.
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi			Internos de la bomba ppal desgastados		No funciona el motor hidráulico, alto impacto por parada de producción por 12 horas

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi			Válvula de alivio abierta		Afecta la producción en 1 hora de parada con 120,155 USD
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi			Solenoide de Servo válvula quemada		Afecta la producción en 1 hora de parada con 120,220 USD
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por encima de 2500			Bomba descalibrada por manipulación		Afecta la producción en 1 hora de parada con 120,155 USD

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Caudal por debajo de 25 l/min			solenoides de Electroválvula quemada		Motor no funciona, no hay paso de aceite hidráulico hacia el motor
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Caudal por debajo de 25 l/min			Electro válvula con fuga interna por desgaste		Motor no funciona, no hay paso de aceite hidráulico hacia el motor
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de temperatura al controlador	codigo002	No entrega señal de corriente al controlador (0 A)			RTD dañada por resistencia abierta		No hay información en el indicador de temperatura, la falla se puede llevar hasta el PM
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de temperatura al controlador	codigo002	Entrega una señal constante de corriente en el orden de los mA al controlador			resistencia de RTD quemada		No hay información en el indicador de temperatura, la falla se puede llevar hasta el PM

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de presión al controlador.	codigo003	No entrega señal de corriente al controlador (0 A)			Transmisor de Presión quemado por inversión de tensión		No hay información en el indicador de temperatura, la falla se puede llevar hasta el PM
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de presión al controlador.	codigo003	Entrega una señal constante de corriente en el orden de los mA al controlador a medida que transcurre el tiempo			Transmisor de Presión quemado por corto circuito		No hay información en el indicador de Presión
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Indicar localmente la presión de aceite y nivel de aceite en el tanque.	codigo007	Indica erróneamente los valores de presión			manómetro descalibrado		La lectura del manómetro no es la correcta creando falsa información
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor			solenoides de Servo válvula quemada		Afecta la producción en 2 horas de parada con 120,220 USD

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER			Manguera rota		La rata de producción baja hasta cero; Derrame de aceite - daños en la piel por presión de aceite; Detiene inmediatamente la producción, 480.000USD/4H; Afectación del área y daño de la manguera; 2.173 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER			Manguera rota		La rata de producción baja hasta cero; Derrame de aceite - Quemadura ; Detiene inmediatamente la producción, 480.000USD/4H; Afectación del área y daño de la manguera; 2.173 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER			Pistón pegado por falta de lubricación		La rata de producción baja hasta cero; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Pistón y camisa dañada; 96.061 USD costo de la reparación

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER			Pistón pegado por falta de lubricación		La rata de producción baja hasta cero; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Pistón y camisa dañada; 96.061 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER			Pistón pegado por falta de lubricación		La rata de producción baja hasta cero; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Pistón y camisa dañada; 96.061 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER			Pistón pegado por falta de lubricación		La rata de producción baja hasta cero; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Pistón y camisa dañada; 96.061 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	El eje se mueve a velocidad no constante			Pistón desgastado por falta de lubricación		La velocidad no es constante; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Presencia de rayaduras en la camisa; 96.061 USD costo de la reparación

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Funcional	Falla	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	El eje se mueve a velocidad no constante			anillos de pistón desgastado por falta de lubricación		La velocidad no es constante; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Presencia de rayaduras en la camisa; 96.061 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	El eje se mueve a velocidad no constante			roller desgastado por falta de lubricación		La velocidad no es constante; No Afecta; Detiene inmediatamente la producción, 2.880.000USD/24H; Roller desgastados; 96.061 USD costo de la reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Contener aceite herméticamente	codigo009	No contiene herméticamente y presenta Fuga de Aceite			Sello partido por desgaste		Fuga de aceite por el acople de salida del motor; Derrame de aceite; No afecta; Daño sello de salida; 17.208 USD Costo de la Reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Contener aceite herméticamente	codigo010	No contiene herméticamente y presenta Fuga de Aceite			Sello partido por desgaste		No evidencia ; Derrame de aceite; No afecta; Daño sello de salida; 1.809.013 USD Costo de la Reparación

**Tabla 3. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Cód. FF	Modo de Falla	Cód. MF	Descripción Efectos
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Contener aceite herméticamente	codigo010	Contaminación del Aceite por sello partido por desgaste		Sello partido por desgaste		No evidencia ; No Afecta; No afecta; Daño en la superficie parte interna del motor; 1.809.013 USD Costo de la Reparación
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Enviar señal de velocidad de trabajo	codigo011	No enviar señal trabajo		Encoder(sensor de Velocidad) circuito abierto		En el cuarto de control se evidencia que el equipo está detenido y este se en cuenta está operativo; No Afecta; No afecta; Daño del Encoder; 361.551 USD de la Reparación
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor		Partes internas del motor dañados por aceite contaminados		Perdida de rata de trituración o no funciona el motor correctamente impactando la operación
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor		Filtros saturados por aceite contaminado		No evidencia ; No Afecta; No afecta; Filtros saturados y aceite contaminado; 1.752 USD costo de la reparación

**6.3.2 Definición de tareas.** Se definirán las tareas correspondientes a los mantenimientos que se desarrollarán para la unidad HAGGLUNDS, con base al diagrama de decisiones que se relaciona a continuación:

Figura 30. Diagrama de decisiones

DIAGRAMA DE DECISIÓN PARA DEFINICIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO BASADOS EN MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD



Fuente: Ortiz Ruiz Consultores S.A.S

Referente a lo anterior, podemos determinar las tareas y los tipos de decisiones que se tomaran sobre los elementos de estudio, basados en los análisis de fallas funcionales originadas por los modos de fallas identificadas. Este tipo de fallas pueden ser ocultas o visibles. Sin embargo, en ambos casos, se compromete la integridad de los actores involucrados, considerando las personas que interactúan en el proceso, medio ambiente y economía.

Es por lo anterior, que el monitoreo debe ser considerada como una actividad constante, dentro de las rutinas de mantenimiento. Por consiguiente, se obtiene una alta disponibilidad de los equipos y se reducen los riesgos a niveles considerables.

A continuación se definirán las tareas correspondientes, para la unidad crítica HAGGLUNDS:

### 6.3.2.1 Definición de tareas

**Tabla 4. Definición de tareas**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del FEEDER a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del FEEDER	Manguera rota	Alto	\$482.173	COMBINA	Inspeccionar el estado de la manguera.
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del feeder	Manguera rota	Alto	\$482.173	COMBINA	Cambiar manguera (Preventivo)

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del feeder	Pistón pegado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	COMBINA	Realizar Inspección básica al motor hidráulico (Monitorear por condición las variables, Temperatura, Presión y flujo de la carcasa).
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del feeder	Pistón pegado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	COMBINA	Cambiar motor hidráulico (Preventivo)
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del feeder	Pistón pegado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	COMBINA	Realizar Termografía y Vibraciones al motor hidráulico

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	No mueve el eje del feeder	Pistón pegado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	COMBINA	Realizar Test de Rendimiento UH Haggglunds
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	El eje se mueve a velocidad no constante	Pistón desgastado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	REDISEÑO	Reubicar unidad de potencia a un nivel superior
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	El eje se mueve a velocidad no constante	anillos de pistón desgastado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	REDISEÑO	Reubicar unidad de potencia a un nivel superior
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Mover el eje del feeder a una velocidad angular constante de 2 - 4 rpm	codigo009	El eje se mueve a velocidad no constante	Roller desgastado por falta de lubricación	Extremo	\$2.964.519	REDISEÑO	Reubicar unidad de potencia a un nivel superior

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Contener aceite herméticamente	codigo009	No contiene herméticamente y presenta Fuga de Aceite	Sello partido por desgaste	Alto	\$2.964.519	COMBINA	Cambiar sello motor Hidráulico
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Contener aceite herméticamente	codigo010	No contiene herméticamente y presenta Fuga de Aceite	Sello partido por desgaste	Alto	\$2.964.519	COMBINA	Inspeccionar sello motor hidráulico
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Contener aceite herméticamente	codigo010	Contaminación del Aceite por sello partido por desgaste	Sello partido por desgaste	Alto	\$2.964.519	MONITOREO	Realizar muestreo de aceite
UNIDAD HIDRÁULICA DEL FEEDER (HAGGLUNDS)	Enviar señal de velocidad de trabajo	codigo011	No enviar señal trabajo	Encoder(sensor de Velocidad) circuito abierto	Alto	\$361.551	CORRER A FALLA	

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Partes internas del motor dañados por aceite contaminados	Alto	\$2.976.061	CAMBIO	Cambiar kit de filtros y aceite
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Filtros saturados por aceite contaminado	Alto	\$2.976.061	CAMBIO	Cambiar kit de filtros y aceite

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico quemado por alto voltaje	Alto	USD 505.681,00	CORRER A FALLA	
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico quemado por falla del aislamiento	Alto	USD 1.467.022,00	MONITOREO	Medir aislamiento del embobinado del motor eléctrico

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico quemado por falla del aislamiento	Alto	USD 1.467.022,00	CAMBIO	Cambiar motor Eléctrico por preventivo
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico bloqueado por rodamientos dañados	Alto	USD 1.467.022,00	COMBINA	Lubricar rodamientos del motor eléctrico (Preventivo)
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico bloqueado por rodamientos dañados	Alto	USD 1.467.022,00	COMBINA	Realizar inspección básica al motor eléctrico

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico bloqueado por rodamientos dañados	Alto	USD 1.467.022,00	COMBINA	Realizar termografía y vibraciones al motor eléctrico(Inspección Predictiva)
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Motor Eléctrico quemado por sobrecarga	Alto	USD 1.467.022,00	CORRER A FALLA	
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Realizar termografía y vibraciones al bomba hidráulica(Inspección Predictiva)

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Cambiar Bomba hidráulica (Preventivo)
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Realizar Inspección básica (Monitorear por condición las variables, Temperatura, Presión y flujo de la carcaza).
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Test de Rendimiento a la bomba hidráulica

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Cambiar Bomba hidráulica (Preventivo)
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Realizar Inspección básica (Monitorear por condición las variables, Temperatura, Presión y flujo de la carcaza).
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Test de Rendimiento a la bomba hidráulica

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	Bomba dañada por desgaste en sus componentes internos	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Termografía y Vibraciones
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi	Bomba descalibrada por manipulación	Alto	USD 120.155,00	CORRER A FALLA	Calibrar bomba
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y Max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi	internos de la bomba ppal desgastados	Alto	USD 1.477.790,00	COMBINA	Cambiar Bomba (Preventivo)

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi	Válvula de aluivio abierta	Alto	USD 120.155,00	CORRER A FALLA	Calibrar bomba
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	Presión por debajo de 1800 psi	solenoides de Servovalvula quemada	Alto	USD 120.220,00	CORRER A FALLA	
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	Presión por encima de 2500	Bomba descalibrada por manipulación	Alto	USD 120.155,00	CORRER A FALLA	

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	Caudal por debajo de 25 l/min	solenoides de Electrovalvula quemada	Alto	USD 120.022,00	CORRER A FALLA	
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	Caudal por debajo de 25 l/min	Electro válvula con fuga interna por desgaste	Alto	USD 120.837,00	CAMBIO	Cambio de electroválvula
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de temperatura al controlador	codigo002	No entrega señal de corriente al controlador (0 A)	RTD dañada por resistencia abierta	Alto	USD 240.820,00	REACOND.	Cambiar cable de RTD

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de temperatura al controlador	codigo002	Entrega una señal constante de corriente en el orden de los mA al controlador a medida que transcurre el tiempo	resistencia de RTD quemada	Alto	USD 240.820,00	CORRER A FALLA	CAMBIAR CABLE
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de presión al controlador.	codigo003	No entrega señal de corriente al controlador (0 A)	Transmisor de Presión quemado por inversión de tensión	Alto	USD 240.820,00	CORRER A FALLA	
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Transmitir señales de presión al controlador.	codigo003	Entrega una señal constante de corriente en el orden de los mA al controlador a medida que transcurre el tiempo	Transmisor de Presión quemado por corto circuito	Alto	USD 241.020,00	CORRER A FALLA	

**Tabla 4. Continuación**

Elemento de estudio	Función	Cód. Func.	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Valoración del Riesgo	Valor económico del riesgo (Número)	Tipo de decisión	Descripción tarea
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Indicar localmente la presión de aceite y nivel de aceite en el tanque.	codigo007	Indica erróneamente los valores de presión	Manómetro descalibrado	Alto	USD 120.222,00	CORRER A FALLA	
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA	Entregar potencia Hidráulica con un caudal regulable entre 25 y 30 l/min y una presión mínima de 1800 psi y max 2500psi.	codigo001	No entrega potencia hidráulica al motor	solenoides de Servovalvula quemada	Alto	USD 120.220,00	COMBINA	Inspeccionar el aislamiento y resistencia de la solenoide de control de la bomba

## 6.4 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Se define estrategia de mantenimiento, como un conjunto de acciones planeadas para identificar, recopilar, desarrollar e implementar una óptima gestión del mantenimiento de los activos dentro de la compañía. Con lo anterior se busca optimizar los procesos, reduciendo el número de paradas innecesarias y sobre costos en las líneas de producción. De esta forma se diseñó una estrategia de mantenimiento integral, con información suficiente para implementar un grupo de tareas, como la base de las actividades de mantenimiento.

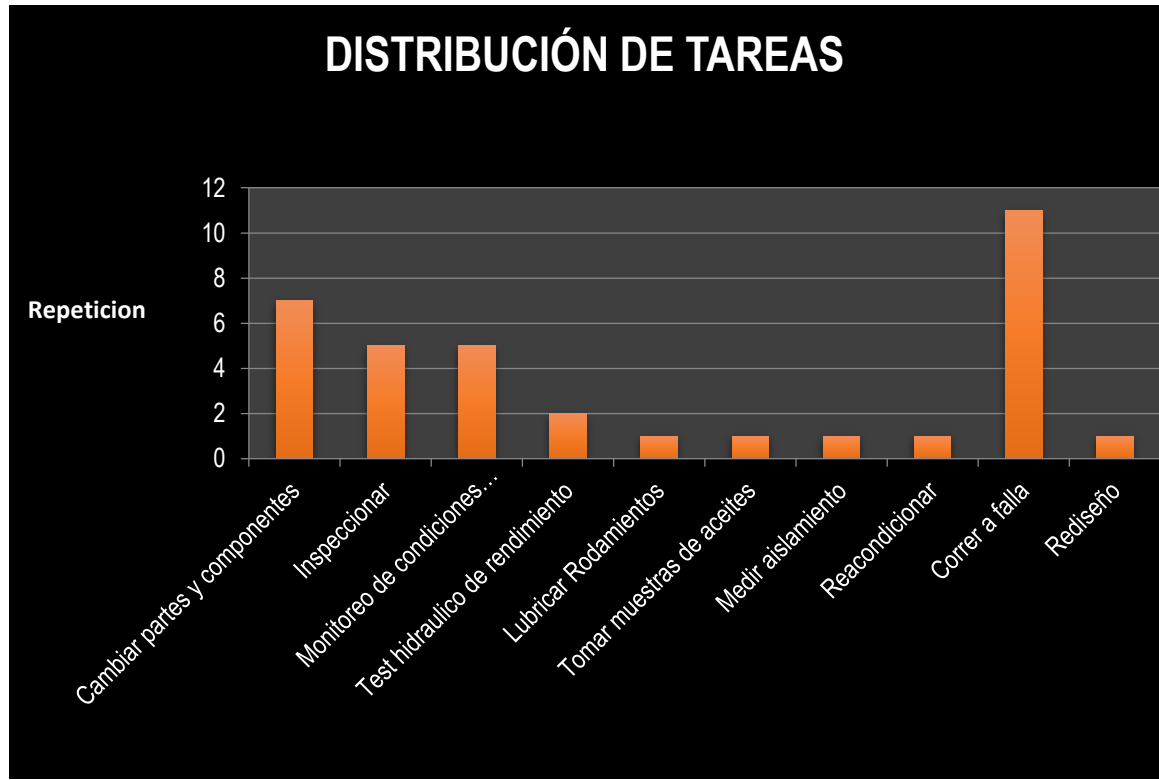
La estrategia de mantenimiento se definió de la siguiente forma:

**Tabla 5. La estrategia de mantenimiento se definió de la siguiente forma**

TAREA	Repetición	%	CLASIFICACIÓN
Cambiar partes y componentes	7	20%	PREVENTIVO
Inspeccionar	5	14%	PREDICTIVO
Monitoreo de condiciones (temperatura, vibraciones, otros)	5	14%	PREDICTIVO
Test hidráulico de rendimiento	2	6%	PREDICTIVO
Lubricar Rodamientos	1	3%	PREVENTIVO
Tomar muestras de aceites	1	3%	PREDICTIVO
Medir aislamiento	1	3%	PREDICTIVO
Reacondicionar	1	3%	PREVENTIVO
Correr a falla	11	31%	CORRECTIVO
Rediseño	1	3%	PREVENTIVO
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>	

CLASIFICACIÓN DE TAREAS	Porcentaje
PREVENTIVO	29%
PREDICTIVO	40%
CORRECTIVO	31%

Figura 31. Distribuciones de tareas



Con lo descrito anteriormente y basados en un análisis cuantitativo, se identificaron las tareas repetitivas dentro de los esquemas de mantenimiento actual. De lo anterior se evidencia que la tarea más repetitiva es correr a falla. Ocasionado, principalmente por la naturaleza de los componentes que conforman el equipo tratado. Así que, Correr a falla, hace parte de una estrategia de mantenimiento, como lo es la estrategia correctiva, la cual tiene como filosofía que la reparación de averías es la base del mantenimiento.

Por lo anterior, se hace necesario implementar tareas de mantenimiento más acertadas, con la finalidad de reducir al máximo las averías que se puedan ocasionar en la línea de proceso y las consecuencias derivadas de las mismas.

Los porcentajes anteriormente mencionados, nos muestran que el tipo de mantenimiento que predomina en los procesos y esquemas de mantenimiento dentro de la compañía, es el mantenimiento predictivo. El cual representa beneficios para los sistemas de producción. Tanto que, nos permiten conocer de forma constante el estado de los equipos, además de eliminar prácticamente las averías dentro de los procesos. Sin embargo, notamos que el mantenimiento correctivo ocupa un lugar importante en el programa de mantenimiento, lo que nos lleva a definir un esquema de mantenimiento, con frecuencias y rutinas definidas que nos mitiguen los efectos y consecuencias de las fallas dentro de los equipos.

A continuación, se relaciona el plan estratégico de mantenimiento:

**Tabla 6. Plan estratégico de mantenimiento**

DESCRIPCIÓN TAREA	Tipo de Variable	FREC.	Dur. (hr)	RECURSOS	Personal	Materiales	Herramientas	Periodo
Inspeccionar el estado de la mangueras del sistema hidráulico	Días calendario	7	0,16	1 Técnico Mecánico; Trapos; Linterna y Pistola de Temperatura	1 Técnico mecánico	Trapos	Linterna y Pistola de Temperatura	Semanal
Cambiar manguera. (Preventivo)	Días calendario	1095	4	2 Técnico mecánico; Maguera, Trapos; Caja de Herramientas	2 Técnico mecánico	Maguera, Trapos	Caja de Herramientas	3 años
Inspección básica al motor hidráulico (Monitorear por condición las variables, Temperatura, Presión y flujo de la carcasa).	Días calendario	1	0,5	1 Técnico mecánico;;Pistola de Temperatura	1 Técnico mecánico		Pistola de Temperatura	Diario
Cambiar motor hidráulico (Preventivo)	Días calendario	1825	24	4 Técnico Mecánico; Motor Sellos Aceite Trapos Diferencial Camión Boom Grúa Extractor Hidráulico	4 Técnico mecánico	Motor Sellos Aceite Trapos	Diferencial Camión Boom Grúa Extractor Hidráulico	5 años

**Tabla 6. Continuación**

DESCRIPCIÓN TAREA	Tipo de Variable	FREC.	Dur. (hr)	RECURSOS	Personal	Materiales	Herramientas	Periodo
Realizar Termografía y Vibraciones al motor hidráulico	Días calendario	30	1	1 Técnico mecánico; Trapos Cámara Termografía y Equipo de Vibraciones	1 Técnico mecánico	Trapos	Cámara Termografica y Equipo de Vibraciones	Mensual
Test de Rendimiento al motor hidráulico	Días calendario	180	6	2 Técnico Mecánico; Trapos; Dataloguer (XXX)	2 Técnico mecánico	Trapos	Dataloguer (XXX)	Semestral
Cambio de sello	Días calendario	913	24	4 Técnico Mecánico; Motor Sellos Aceite Trapos Diferencial Grúa Extractor Hidráulico	4 Técnico mecánico	Motor Sellos Aceite Trapos	Diferencial Grúa Extractor Hidráulico	2,5 años
Inspeccionar sello	Días calendario	7	0,16	1 Técnico Mecánico; Trapos; Linterna y Pistola de Temperatura	1 Técnico mecánico	Trapos	Linterna y Pistola de Temperatura	Semanal
Toma de muestra de aceite	Días calendario	30	0,16	1 Técnico Mecánico; Trapos Kit de Muestreo; Software de Análisis para Análisis de aceites	1 Técnico mecánico	Trapos Kit de Muestreo	Software de Análisis para Análisis de aceites	Mensual

**Tabla 6. Continuación**

DESCRIPCIÓN TAREA	Tipo de Variable	FREC.	Dur. (hr)	RECURSOS	Personal	Materiales	Herramientas	Periodo
Cambiar kit de filtros y aceite unidad de potencia	Días calendario	180	4	2 Técnicos mecánicos; trapo, aceite, kit de sellos; Equipo para cambio de aceite, llave sacafiltro,	2 técnicos mecánicos	trapo, aceite, kit de sellos	Equipo para cambio de aceite, llave saca filtro,	Semestral
Cambiar kit de filtros y aceite unidad de potencia	Días calendario	180	4	2 Técnicos mecánicos; trapo, aceite, kit de sellos; Equipo para cambio de aceite, llave sacafiltro,	2 técnicos mecánicos	trapo, aceite, kit de sellos	Equipo para cambio de aceite, llave saca filtro,	Semestral
Cambiar motor Eléctrico por preventivo	Días calendario	3650	12	3 Técnicos , 01 camión boom; trapo; Herramientas mecánicas y eléctricas	3 técnicos , 01 camión boom	trapo	Herramientas mecánicas y eléctricas	Cada 10 años
Medir aislamiento del bobinado del motor eléctrico	Días calendario	180	1	1 Técnico electricista, 1 auxiliar electricista; trapo; 1 meger	1 Técnico electricista, 1 auxiliar eléctrica	trapo	1 meger	Semestral
Lubricar rodamientos del motor eléctrico (Preventivo)	Días calendario	180	1	1 Técnico electricista; Trapos, grasa Molirex; Engrasadora manual	1 Técnico electricista	Trapos, grasa Molirex	Engrasadora manual	Semestral
Inspección básica del motor hidráulico	Días calendario	7	1	1 Técnico electricista; Trapos,; Pistola para medir temperatura	1 Técnico electricista	Trapos,	Pistola para medir temperatura	Semanal

**Tabla 6. Continuación**

DESCRIPCIÓN TAREA	Tipo de Variable	FREC.	Dur. (hr)	RECURSOS	Personal	Materiales	Herramientas	Periodo
Realizar Termografía y vibraciones al motor eléctrico (Inspección Predictiva)	Días calendario	30	1	Especialista externo; Trapos; Cámara Termografica y Equipo de Vibraciones	Especialista externo	Trapos	Cámara Termografica y Equipo de Vibraciones	Mensual
Realizar Termografía y Vibración a la bomba hidráulica	Días calendario	30	1	Especialista externo; Trapos; Cámara Termografica y Equipo de Vibraciones	Especialista externo	Trapos	Cámara Termografica y Equipo de Vibraciones	Mensual
Cambiar Bomba hidráulica (Preventivo)	Días calendario	1825	12	2 Técnicos mecanico;1tecnico Electricista;1 Soldador; Bomba Aceite Trapos Diferencial Camión Boom Grúa Extractor Hidráulico	2 Técnicos mecanico;1tecnico Electricista;1 Soldador	Bomba Aceite Trapos	Diferencial Camión Boom Grúa Extractor Hidráulico	Cada 5 años

**Tabla 6. Continuación**

DESCRIPCIÓN TAREA	Tipo de Variable	FREC.	Dur. (hr)	RECURSOS	Personal	Materiales	Herramientas	Periodo
Inspección básica de la bomba hidráulica (Monitorear por condición las variables, Temperatura, Presión y flujo de la carcasa).	Días calendario	1	1	01 Inspector en vibraciones y termografía	1 Técnico mecánico	Trapos	Pistola para medir temperatura	Diario
Test de Rendimiento a la bomba hidráulica	Días calendario	180	6	02 ingenieros hidráulicos	2 Técnico Mecánico	Trapos	Dataloguer (XXX)	Semestral
Cambio de electroválvula por vida útil	Días calendario	1825	1	2 Técnicos mecánico; 1 técnico Electricista; 1 Soldador; trapo; Herramientas mecánicas	2 Técnicos mecánico; 1 técnico Electricista; 1 Soldador	trapo	Herramientas mecánicas	Cada 5 años

## **6.5 ANÁLISIS DE COSTOS**

Para el análisis de los costos asociados a las tareas de mantenimiento de la unidad HAGGLUNDS. (Ver Anexo B)

## 7. CONCLUSIONES

- Se concluye que el equipo con mayores números de paradas por mantenimiento en el sistema de Trituración es la unidad hidráulica Haggunds, y dentro de la unidad hidráulica el componente más crítico es el motor hidráulico Haggunds.
- Como el resultado de aplicar la metodología RCM a la unidad hidráulica Haggunds, se deriva la tabla de tareas (N. XXX tablas de tareas). Donde se muestra la información necesaria para programar las tareas con su respectiva frecuencia, mano de obra, equipo de soporte y tiempo estimado de ejecución.
- La tarea de la unidad hidráulica que representa mayor riesgo económico para la operación del sistema de trituración es el cambio del motor hidráulico Haggunds.
- Del análisis del FMEA resultó una tarea de mejoramiento o de rediseño con el fin de mantener lubricadas las partes internas del motor hidráulico Haggunds. Esta tarea consiste en reubicar la unidad de potencia a un nivel por encima del motor hidráulico, de esta manera evitar cavitación y desgaste prematuro de los componentes internos del motor.
- El plan de mantenimiento derivado de la metodología aplicado a la unidad hidráulica Haggunds dio como resultado una clasificación de tareas la cual se muestra en la tabla N, donde el 29% son tareas preventivas, 40% tareas predictivas y 31% predictivas.
- De la tabla de distribución de tareas, notamos que el mantenimiento correctivo ocupa un 31% de las actividades definidas en los planes de mantenimiento actuales, superando las actividades preventivas en un 2%.Lo anterior, obedece a que la unidad Haggunds, está conformada por varios componentes eléctricos.

## 8. RECOMENDACIONES

Del resultado de esta monografía basada en el RCM aplicado a la unidad hidráulica Hagglunds del sistema de trituración se desprenden las siguientes recomendaciones, que deben ser implementadas para mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de trituración:

1. Instalar fitting para muestreo de aceite en el motor y bomba hidráulica para realizar análisis de aceite y poder detectar oportunamente el comportamiento del desgaste de estos componentes, de manera individual.
2. Instalar Filtro de alta eficiencia (NTZ) de 5 micras con la finalidad de garantizar la limpieza de aceite y mantener el código ISO dentro de los parámetros exigidos por fabricante el cual no debe exceder de ISO 4406:1999 18/16/13.
3. Realizar diálisis cada 3 meses, para extender la vida útil del aceite y mantener limpio el aceite sin contaminantes.
4. Reubicar la unidad hidráulica de potencia con la finalidad de evitar la cavitación y desgaste prematuro en el motor hidráulico.
5. Entrenamiento en diagnóstico del sistema hidráulico Hagglunds para el personal propio de mantenimiento, ya que todos estos servicios en el momento son contratados por personal externo.
6. Entrenamiento en vibraciones y termografía, este servicio también es contratado por personal externo, si entrenamos a nuestro personal para realizar estas tareas podemos ahorrar tiempo y dinero a la compañía.

## BIBLIOGRAFÍA

BRENT, C. W. T. I. Y. Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica. 2016.

DESHPANDE, V., & MODAK, J. Application of RCM for safety considerations in a steel plant. *Reliability Engineering & System Safety*, 78(3), 325–334. 2002a. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00177-1](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00177-1)

\_\_\_\_\_. Application of RCM to a medium scale industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 77(1), 31–43. 2002b. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00011-X)

HEO, J. H., Kim, M. K., & Lyu, J. K. Implementation of Reliability-Centered Maintenance for transmission components using Particle Swarm Optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 238–245. 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.09.005>

MOUBRAY, J. Mantenimiento centrado en confiabilidad. (ALADON, Ed.). ALADON. 2004.

ORTIZ PLATA, D. Organizaciones del mantenimiento: mantenimiento centrado en confiabilidad. (U. I. de Santander, Ed.). Universidad Industrial de Santander. 2008.

OUTLOOK, S. E., BRENT, N. S., BRENT, F., WEST, F., Intermediate, T., Prices, M., Hub, F. H. Short-Term Energy Outlook (STEO). 2017

SUBCOMMITTEE, P. A., ENDRENYI, J., ABORESHEID, S., ALLAN, R. N., ANDERS, G. J., ASGARPOOR, S., Singh, C. The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability, 16(4), 638–646. 2001.

## ANEXOS

### ANEXO A. Informe HSC191017-007CAL, Servicio de Evaluación y Diagnóstico del sistema hidráulico Haggglunds de la Mina Calenturitas de acuerdo con orden 4210042391



Santiago de Cali, Octubre 19 de 2017

SRES. C.I. PRODECO S.A.  
Atn. Ing. Carlos Padilla  
Mantenimiento Trituración  
Mina Calenturitas

REF. Informe HSC191017-007CAL, Servicio de Evaluación y Diagnóstico del Sistema Hidráulico Haggglunds de la Mina Calenturitas de acuerdo con Orden 4210042391.

Estimado Ing. Padilla:

A continuación, presentamos el reporte correspondiente a la evaluación con equipo Data Logger que se llevó a cabo por nuestro especialista el Sr. Guillermo González para el sistema hidráulico Haggglunds del apron feeder de Calenturitas, entre los días 2 y 4 de octubre durante el PM programado.

Cabe mencionar que, previamente se nos manifestó sobre la presencia de material metálico al realizar la inspección del Early Warning Kit (magneto) que se encuentra instalado en la línea de drenaje del motor hidráulico. Por tanto, se consideró oportuno efectuar la evaluación de desempeño del equipo.

Una vez en sitio se realizó una primera inspección de sus componentes con el fin de descartar la presencia de fugas de aceite en las líneas de conexión hidráulica (tubing y mangueras) así como revisar el nivel de ruido del equipo en general.

Durante la evaluación, el sistema se encontró dentro de parámetros normales. La temperatura en tanque fue de 40°C y el sistema de control Spider no presentó registros de alarmas y/o warnings que fueran generados por eventos recientes. Así mismo, se pudo deducir que las partículas de material encontradas previamente corresponden a rezagos mezclados en el aceite.

Posterior a ello, se realizó la conexión al sistema del equipo Data Logger con sus respectivos transductores de presión.

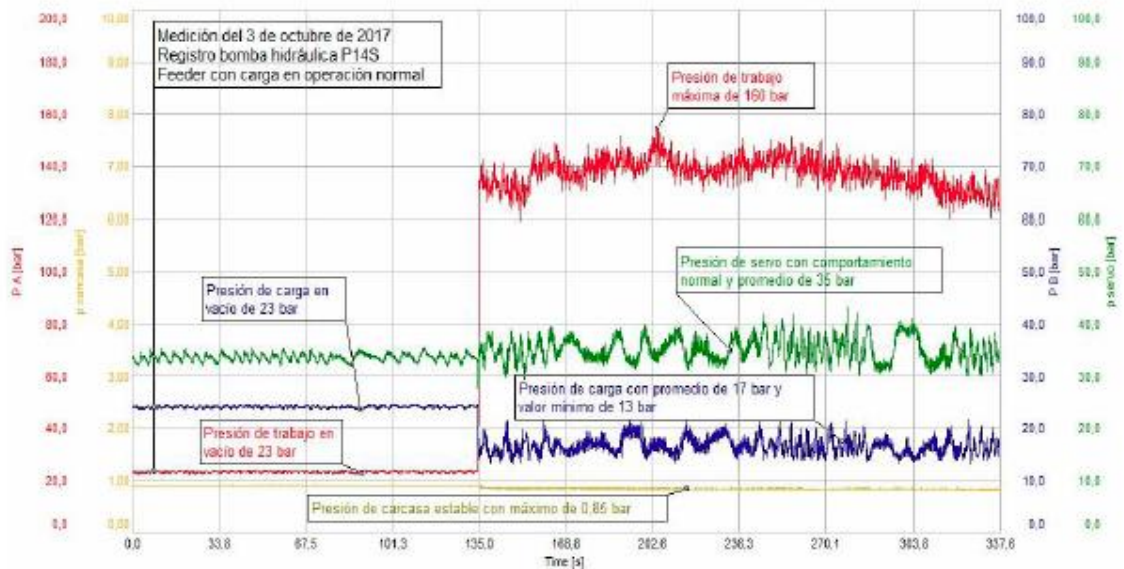
Inicialmente, se evaluó el equipo en operación normal con carbón y posteriormente bloqueando las líneas principales A y B.

 Cali, Colombia  
Cra 38 No. 15-158 Acopi - Yumbo  
 (+57 -2) 865 8464 - Móvil: 320 8902476

 Cartagena, Colombia  
Centro Comercial Terminal No. 2, Km. 1 Vía Turboo. Local D3  
 (+57 -5 ) 861 2822

El siguiente es el registro tomado a la bomba hidráulica en operación normal:

**1. Bomba Hidráulica P14S SN. 2013958, con carga.**



Gráfica 1. Bomba Serial 2013958 en operación normal.

De acuerdo con la gráfica anterior, vemos que en condición de vacío la presión en los puertos A y B es igual con un valor de 23 bar lo cual nos indica que el cero mecánico, en el control de desplazamiento, se encuentra calibrado de manera correcta.

Una vez ingresa material (carbón) al feeder la presión de trabajo alcanza un valor máximo de 160 bar mientras que la presión de carga se conserva con promedio de 17 bar presentando un valor mínimo de 13 bar el cual supera el valor de ajuste del presostato para baja presión de carga (8 bar) instalado en la unidad de potencia PEC.

La presión servo se conserva estable. Su comportamiento es proporcional de acuerdo con la presión de carga (2 a 1) presentando un promedio de 35 bar cuando la presión de carga es de 17 bar.

La presión de carcasa presenta poca variación. Su valor promedio es de 0,7 bar con pico máximo de tan solo 0,85 bar, los cuales son inferiores al valor máximo permisible de 5 bar.

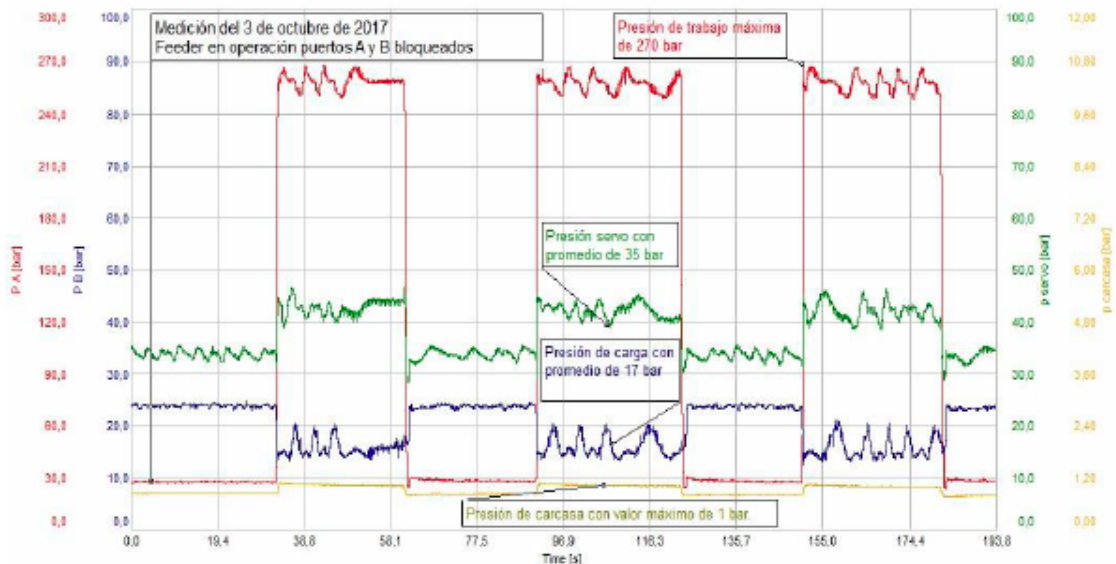
Procedemos a calcular el gradiente de presión de carcasa para la bomba:

$$\begin{aligned} \text{Gradiente PCase} &= (P_{\text{case máx}} - P_{\text{case min}}) / (P_{\text{work máx}} - P_{\text{work min}}) \\ \text{Gradiente PCase} &= (0.85 \text{ bar} - 0.7 \text{ bar}) / (160 \text{ bar} - 23 \text{ bar}) \\ \text{Gradiente PCase} &= 0.0010 \ll 0.01 \text{ a } 0.02 \end{aligned}$$

El valor de gradiente de presión de carcasa es bastante inferior al rango aceptable (0.01 a 0.02). Por tanto, podemos concluir que la bomba hidráulica se conserva en muy buenas condiciones desde el punto de vista de eficiencia volumétrica.

En vista de que las variables del equipo en operación se encuentran dentro de valores normales y son propios para el sistema, se procede con la evaluación de presurización bloqueando las líneas principales.

## 2. Bomba Hidráulica P14S SN. 2013958, bloqueo de líneas principales.



Gráfica 2. Presurización de bomba hidráulica.



Inicialmente, se presurizó la bomba hidráulica según el valor de ajuste del compensador para la presión de trabajo con el fin de verificar el comportamiento de la presión de carcasa así como el flujo a través de la línea de drenaje.

Para este procedimiento, se bloquean las válvulas de bola instaladas en las líneas principales y se opera el equipo en modo LOCAL desde el sistema de control Spider.

De acuerdo con la gráfica 2, al presurizar la bomba, la presión de trabajo alcanza un valor máximo de 270 bar. Durante dicho evento, la presión de carga promedio es de 17 bar y la presión de servo se sostiene de manera proporcional con promedio de 35 bar.

La presión de carcasa presenta comportamiento estable. El valor máximo fue de 1 bar el cual es inferior al máximo permisible de 5 bar.

Procedemos a calcular el gradiente de presión de carcasa para la bomba:

$$\text{Gradiente PCase} = (\text{Pcase máx} - \text{Pcase min}) / (\text{Pwork máx} - \text{Pwork min})$$

$$\text{Gradiente PCase} = (1 \text{ bar} - 0.7 \text{ bar}) / (160 \text{ bar} - 28 \text{ bar})$$

$$\text{Gradiente PCase} = 0.002 \ll 0.01 \text{ a } 0.02$$

El gradiente de presión de carcasa es muy bueno y ratifica que la bomba se encuentra en óptima condición.

Al concluir la evaluación de la bomba, nuestro personal técnico procede con la evaluación del motor hidráulico bloqueando la línea de retorno (puerto B). Esta condición nos permite exigir internamente el motor y verificar el nivel de fuga volumétrica a través del puerto de drenaje.

Posteriormente, mediante el sistema de control Spider, de manera proporcional se genera señal al stoker de la bomba hidráulica en sentido FORWARD (a la respectiva bobina).

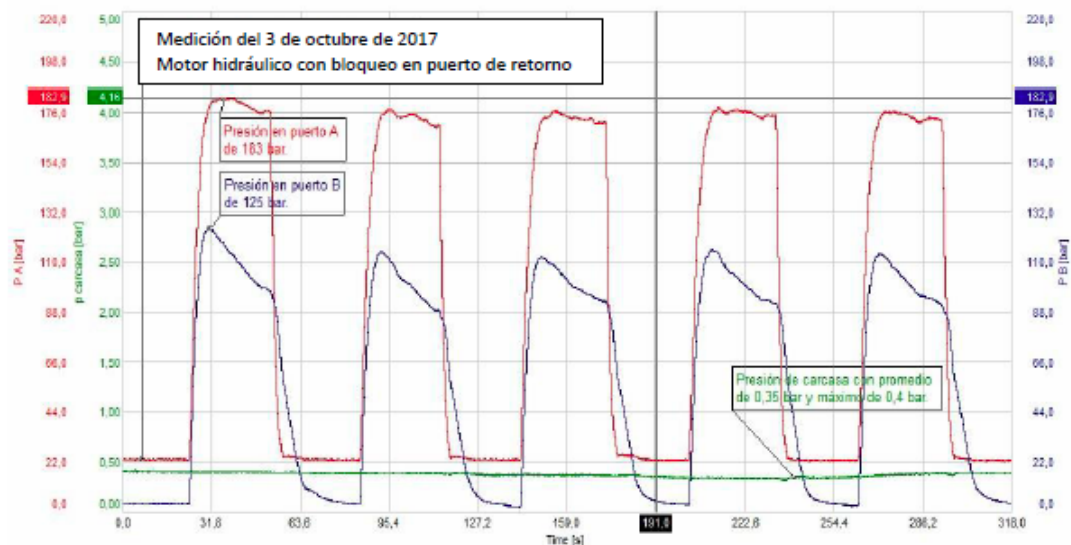
A continuación, tenemos los registros obtenidos en el motor hidráulico, para el cual se midieron las siguientes variables:

Presión puerto A	Transductor de 400 bar.
Presión puerto B	Transductor de 400 bar.
Presión de carcasa	Transductor de 16 bar.

 Cali, Colombia  
Cra 38 No. 15-159 Acopi - Yumbo  
 (+57 -2) 665 8464 - Móvil: 320 6902476

 Cartagena, Colombia  
Centro Comercial Tornera No. 2, Km. 1 Via Turbaco, Local D3  
 (+57 -5 ) 661 2822

### 3. Motor hidráulico CB840 760 CA0N0C 00 00 con Serial 01727.



Gráfica 3. Motor CB Serial 01727, con bloqueo en puerto de retorno.

Según la gráfica anterior, se puede observar que la presión en el puerto A (presión de trabajo) presentó un valor máximo de 183 bar mientras que la presión en el puerto B (presión de retorno) alcanzó un valor máximo de 125 bar. Durante dicho evento vemos que la presión de carcasa se mantuvo de manera estable presentando un valor inferior a 1 bar.

De acuerdo con lo anterior, el comportamiento de la presión de carcasa es muy bueno, tanto que su valor máximo fue de 0,4 bar el cual se encuentra por debajo del valor máximo permisible de 3 bar.

Con los registros obtenidos procedemos a calcular el gradiente de presión de carcasa:

$$\text{Gradiente de presión de carcasa} = (P_{\text{carcasa máx}} - P_{\text{carcasa mín}}) / (P_{\text{trab max}} - P_{\text{trab mín}})$$

$$\text{Gradiente de presión de carcasa} = (0,4 \text{ bar} - 0,3 \text{ bar}) / (183 \text{ bar} - 25 \text{ bar})$$

$$\text{Gradiente de presión de carcasa} = 0,0005 \ll 0,05 \text{ a } 0,1$$



Tenemos que, el valor gradiente de presión de carcasa se encuentra bastante por debajo del rango máximo aceptable de 0.05 a 0.1. Por tanto, podemos concluir que el motor hidráulico se encuentra en muy buena condición desde el punto de vista de eficiencia volumétrica.

De acuerdo con la lectura de parámetros en el Spider II, el flujo por línea de drenaje del motor hidráulico fue de 27 lts/min, con velocidad promedio de 3 RPM.

#### Conclusiones y Recomendaciones.

- Los registros obtenidos se encuentran dentro de lo normal y se deben mantener para el correcto funcionamiento del sistema hidráulico.
- El nivel de eficiencia volumétrica tanto de la bomba como el motor hidráulico es muy bueno.
- La temperatura de aceite en el tanque fue de 40°C, el nivel de ruido normal y la velocidad de giro del motor hidráulico de 3 RPM.
- Se recomienda dar continuidad a las evaluaciones en un periodo no mayor a 3 meses.

Cordialmente,

Heberth Osorio  
Ing. de Aplicación, Dpto. Comercial.

 Cali, Colombia  
Cra 38 No. 15-158 Acopi - Yumbo  
 (+57 -2) 685 8464 - Móvil: 320 6902476

 Cartagena, Colombia  
Centro Comercial Ternera No. 2, Km. 1 Via Turbo, Local D3  
 (+57 -5 ) 661 2822

## ANEXO B. Análisis de costos

INSPECCIONAR ESTADO DE LA MANGUERA				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	0,16	Horas		
<b>PARTE</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
Manguera	0	0		0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	DURACIÓN(HORAS)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grua 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	1	65.000	0,16	10.400
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	0	65.000	0	0
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 10.400</b>
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 3</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		

INSPECCIONAR ESTADO DE LA MANGUERA				
Costo cambio de Manguera	\$ 482.173	USD		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
3. FRECUENCIA	7	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 482.173</b>
# de veces el año	52,14		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 181</b>

CAMBIAR MANGUERA				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	4	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Manguera	1	6.000.000		6.000.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>DURACIÓN(HORAS)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grua 120	1	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	4	520.000
Soldador	0	65.000	0	0

<b>CAMBIAR MANGUERA</b>				
electricista	0	65.000	0	0
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 6.520.000</b>
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 2.173</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 480.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	1.095	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 482.173</b>
# de veces el año	0,33		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 724</b>

<b>REALIZAR INSPECCIÓN BÁSICA AL MOTOR HIDRÁULICO</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	0,5	Horas		
<b>PARTE</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
	0	0		0
				0

<b>REALIZAR INSPECCIÓN BÁSICA AL MOTOR HIDRÁULICO</b>				
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	1	65.000	0,5	32.500
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	0	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 32.500</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 11</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
			<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 2.964.519</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>				
	7	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 565</b>
# de veces el año	52,14			

<b>CAMBIAR MOTOR HIDRÁULICO</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	24	Horas		
<b>PARTE</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
MOTOR HIDRÁULICO	1	242.086.754		242.086.754
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	1	62.727	24	1.505.457
Grúa 120	1	155.250	24	3.726.006
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	3	65.000	24	4.680.000
Soldador	1	65.000	24	1.560.000
Electricista	0	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 253.558.217</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 84.519</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
				<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>
				<b>\$ 2.880.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	730	Días		<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>
# de veces el año	0,50			<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>
				<b>\$ 42.260</b>

<b>REALIZAR TERMOGRAFÍA Y VIBRACIONES AL MOTOR HIDRÁULICO (Inspección Predictiva)</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>SERVICIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Análisis predictivo	1	200.000		200.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 200.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 67</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
			<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 2.964.519</b>

REALIZAR TERMOGRAFÍA Y VIBRACIONES AL MOTOR HIDRÁULICO (Inspección Predictiva)				
3. FRECUENCIA	30	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 811,11</b>
# de veces el año	12,17			

REALIZAR TEST DE RENDIMIENTO AL MOTOR HIDRÁULICO				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	3	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
Análisis predictivo	1	7.000.000		7.000.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	1	65.000	3	195.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	3	195.000

REALIZAR TEST DE RENDIMIENTO AL MOTOR HIDRÁULICO				
# de veces el año	12		TOTAL MTTO (COP)	\$ 7.390.000
TRM	3.000		TOTAL MTTO (USD)	\$ 2.463
2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	COSTO PRODUCCIÓN (USD)	\$ 0
			COSTO NO MATTO (USD)	\$ 2.964.519
3. FRECUENCIA				
# de veces el año	180	Días	COSTO TAREA AL AÑO (USD)	\$ 4.995
	2,03			

REUBICAR UNIDAD DE POTENCIA A UN NIVEL SUPERIOR				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	24	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
Diseño, fabricación e instalación de estructura, incluye accesorios.	1	50.000.000		50.000.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	1	62.727	36	2.258.186

<b>REUBICAR UNIDAD DE POTENCIA A UN NIVEL SUPERIOR</b>				
Grúa 120	1	155.250	36	5.589.009
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	36	4.680.000
Soldador	2	65.000	36	4.680.000
Electricista	1	65.000	36	2.340.000
# de veces el año	12		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 69.547.195</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 23.182</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 2.880.000</b>
			<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	\$ 2.964.519
<b>3. FRECUENCIA</b>				
# de veces el año	365	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 23.182</b>
	1,00			

<b>CAMBIAR SELLO DE MOTOR HIDRÁULICO</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	24	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>

<b>CAMBIAR SELLO DE MOTOR HIDRÁULICO</b>				
SELLO	1	8.647.453		8.647.453
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>DURACIÓN(HORAS)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	1	62.727	15	940.911
Grúa 120	1	155.250	15	2.328.754
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	15	1.950.000
Soldador	1	65.000		0
Electricista	0	65.000	0	0
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 13.867.117</b>
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 4.622</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 2.880.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	913	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 2.964.519</b>
# de veces el año	0,40		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 1.848</b>

INSPECCIONAR DE SELLO DE MOTOR HIDRÁULICO				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	0,16	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
SELLO	0	0		0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>DURACIÓN(HORAS)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	1	65.000	0,16	10.400
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	0	65.000	0	0
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 10.400</b>
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 3</b>
2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
			<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 2.964.519</b>

INSPECCIONAR DE SELLO DE MOTOR HIDRÁULICO				
3. FRECUENCIA	7	Días	COSTO TAREA AL AÑO (USD)	\$ 181
# de veces el año	52,14			

REALIZAR MUESTREO DE ACEITE				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	0,16	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
	0			0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	1	65.000	0,16	10.400
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	0	65.000	0	0

<b>REALIZAR MUESTREO DE ACEITE</b>				
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 10.400</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 3</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
			<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 2.964.519</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	30	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 42</b>
# de veces el año	12,17			

<b>CAMBIAR ENCODER</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	3	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
ENCODER	1	4.262.864		4.262.864
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>

<b>CAMBIAR ENCODER</b>				
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	1	65.000	3	195.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	3	195.000
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 4.652.864</b>
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 1.551</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 360.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	1.825	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 361.551</b>
# de veces el año	0,20		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 310</b>

<b>CAMBIAR ACEITE Y KIT DE FILTROS</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	4	Horas		
<b>PARTE/INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Kit de filtros	1	1.425.784		1.425.784
Aceite	400	5.767		2.306.878
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	1	62.727	4	250.910
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	4	520.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	0	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 4.503.572</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 1.501</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Motor hidráulico	\$ 2.964.519	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 480.000</b>

CAMBIAR ACEITE Y KIT DE FILTROS				
3. FRECUENCIA	180	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	\$ 2.964.519
# de veces el año	2,03		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 3.044</b>

MEDIR AISLAMIENTO DEL EMBOBINADO DEL MOTOR ELÉCTRICO				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
	0			0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	2	65.000	1	130.000

# de veces el año	6		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 130.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 43</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
COSTO TONELADA DE CARBÓN	\$ 60	USD		
RATA DE PRODUCCIÓN	\$ 2.000	TPH		
Costo cambiar motor eléctrico	\$ 1.465.355	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 120.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	180	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.465.355</b>
# de veces el año	2,03		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$87,87</b>

<b>LUBRICAR RODAMIENTOS DEL MOTOR ELÉCTRICO</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
	0			0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0

LUBRICAR RODAMIENTOS DEL MOTOR ELÉCTRICO				
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	1	65.000
# de veces el año	2		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP</b>	<b>\$ 65.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 22</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
COSTO TONELADA DE CARBÓN	\$ 60	USD		
RATA DE PRODUCCIÓN	\$ 2.000	TPH		
Costo cambiar motor eléctrico	\$ 1.465.355	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 120.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	180	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.465.355</b>
# de veces el año	2,03		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 44</b>

REALIZAR INSPECCIÓN BÁSICA AL MOTOR ELÉCTRICO				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	6	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)

<b>REALIZAR INSPECCIÓN BÁSICA AL MOTOR ELÉCTRICO</b>				
	0			0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	0,5	32.500
# de veces el año	6		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 32.500</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 11</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
COSTO TONELADA DE CARBÓN	\$ 60	USD		
RATA DE PRODUCCIÓN	\$ 2.000	TPH		
Costo cambiar motor eléctrico	\$ 1.465.355	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	7	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.465.355</b>
# de veces el año	52,14		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 565</b>

<b>REALIZAR TERMOGRAFÍA Y VIBRACIONES AL MOTOR ELÉCTRICO</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>SERVICIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Análisis predictivo	1	200.000		200.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 200.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 67</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		

REALIZAR TERMOGRAFÍA Y VIBRACIONES AL MOTOR ELÉCTRICO				
Costo cambiar motor eléctrico	\$ 1.465.355	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
		USD	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	\$ 1.465.355
<b>3. FRECUENCIA</b>	30	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 811,11</b>
# de veces el año	12,17			

CAMBIAR MOTOR ELÉCTRICO				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	12	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
MOTOR ELÉCTRICO	1	75.000.000		75.000.000
				0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0

<b>CAMBIAR MOTOR ELÉCTRICO</b>				
Grúa 120	1	155.250	24	3.726.006
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	12	1.560.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	12	780.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 81.066.006</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 27.022</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 1.440.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>				
	3.650	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.467.022</b>
# de veces el año	0,10		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 2.702</b>

REALIZAR TERMOGRAFÍA Y VIBRACIONES A LA BOMBA HIDRÁULICA				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
Análisis predictivo	1	200.000		200.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 200.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 67</b>
2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambiar bomba hidráulica	\$ 1.477.790	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>
		USD	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.477.790</b>

REALIZAR TERMOGRAFÍA Y VIBRACIONES A LA BOMBA HIDRÁULICA				
3. FRECUENCIA	30	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 811,11</b>
# de veces el año	12,17			

CAMBIAR BOMBA				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	12	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
BOMBA HIDRÁULICA	1	109.497.111		109.497.111
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	1	62.727	12	752.729
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	12	1.560.000
Soldador	1	65.000	12	780.000
Electricista	1	65.000	12	780.000

CAMBIAR BOMBA				
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP</b>	<b>\$113.369.839</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 37.790</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 1.440.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	1.825	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.477.790</b>
# de veces el año	0,20		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 7.558</b>

REALIZAR INSPECCIÓN BÁSICA A LA BOMBA				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	0,5	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)

<b>REALIZAR INSPECCIÓN BÁSICA A LA BOMBA</b>				
	0			0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	0,5	32.500
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 32.500</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 11</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
COSTO TONELADA DE CARBÓN	\$ 60	USD		
RATA DE PRODUCCIÓN	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambiar bomba hidráulica	\$ 1.477.790	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 60.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	1	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 1.477.790</b>
# de veces el año	365,00		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 3.954</b>

REALIZAR TEST DE RENDIMIENTO A LA BOMBA HIDRÁULICA				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	3	Horas		
<b>SERVICIO</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
Análisis predictivo	1	7.000.000		7.000.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	1	65.000	3	195.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	3	195.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 7.390.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 2.463</b>
2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambiar bomba hidráulica	\$ 1.477.790	USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 0</b>

REALIZAR TEST DE RENDIMIENTO A LA BOMBA HIDRÁULICA				
		USD	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	\$ 1.477.790
3. FRECUENCIA	180	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 4.995</b>
# de veces el año	2,03			
3. FRECUENCIA	180	Días		
# de veces el año	2,03			

CALIBRAR BOMBA				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
				0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0

<b>CALIBRAR BOMBA</b>				
		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
<b>MANPOWER</b>				
Técnico Mecánico	1	65.000	1	65.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	0	65.000	0	0
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 65.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 22</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
Costo Cambio de Bomba	\$ 1.477.790		<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 120.000</b>
		USD	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	\$ 1.477.790
<b>3. FRECUENCIA</b>				
# de veces el año	No aplica	Días	<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>No aplica</b>

<b>CAMBIAR ELECTROVÁLVULA</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		

<b>CAMBIAR ELECTROVÁLVULA</b>				
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Electroválvula	1	2.250.000		2.250.000
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	2	65.000	1	130.000
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	2	130.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 2.510.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 837</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
		USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 120.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>				
	1.825	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 120.837</b>
# de veces el año	0,20		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 167</b>

CAMBIAR CABLE DE RTD				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	2	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Cable RTD	1	10.000		10.000
Sensor	0	1.200.000		0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	2	65.000	2	260.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 270.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 90</b>
2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		

CAMBIAR CABLE DE RTD				
		USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 240.000</b>
3. FRECUENCIA	730	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 240.090</b>
# de veces el año	0,50		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 45</b>

CAMBIAR RTD				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	2	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Cable RTD	20	10.000		200.000
Sensor	1	1.200.000		1.200.000
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0

<b>CAMBIAR RTD</b>				
Electricista	2	65.000	2	260.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP</b>	<b>\$ 1.660.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 553</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
		USD	<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 240.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	1.825	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 240.553</b>
# de veces el año	0,20		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 111</b>

<b>CAMBIAR DE TRANSMISOR DE PRESIÓN</b>				
<b>1.COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				
DURACIÓN TAREA	2	Horas		
<b>PARTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO PARTE(\$ COL)</b>		<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Cable RTD	1	1.000.000		1.000.000
Transmisor de presión	1	1.800.000		1.800.000

<b>CAMBIAR DE TRANSMISOR DE PRESIÓN</b>				
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		<b>COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)</b>	<b>TIEMPO(H)</b>	<b>TOTAL(\$ COL)</b>
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	2	65.000	2	260.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 3.060.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 1.020</b>
<b>2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)</b>				
Costo tonelada de carbón	\$ 60	USD		
Rata de producción	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 240.000</b>
<b>3. FRECUENCIA</b>	1.825	Días	<b>COSTO NO MATTO (USD)</b>	<b>\$ 241.020</b>
# de veces el año	0,20		<b>COSTO TAREA AL AÑO (USD)</b>	<b>\$ 204</b>

INSPECCIONAR AISLAMIENTO DE RESISTENCIA DEL DE SOLENOIDE ELECTROVÁLVULA				
1.COSTO DE MANTENIMIENTO				
DURACIÓN TAREA	1	Horas		
<b>PARTE</b>	CANTIDAD	COSTO PARTE(\$ COL)		TOTAL(\$ COL)
				0
				0
				0
<b>EQUIPO DE APOYO</b>	CANTIDAD	COSTO HORA EQUIPO DE APOYO(\$COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Camión boom	0	62.727	0	0
Grúa 120	0	155.250	0	0
<b>MANPOWER</b>		COSTO HORAS HOMBRE(\$ COL)	TIEMPO(H)	TOTAL(\$ COL)
Técnico Mecánico	0	65.000	0	0
Soldador	0	65.000	0	0
Electricista	1	65.000	1	65.000
			<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(COP)</b>	<b>\$ 65.000</b>
TRM	3.000		<b>CORRECCIÓN DE LA FALLA(USD)</b>	<b>\$ 22</b>
2.COSTO DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE)				
COSTO TONELADA DE CARBÓN	\$ 60	USD		
RATA DE PRODUCCIÓN	\$ 2.000	TPH		
			<b>COSTO PRODUCCIÓN (USD)</b>	<b>\$ 120.000</b>

INSPECCIONAR AISLAMIENTO DE RESISTENCIA DEL DE SOLENOIDE ELECTROVÁLVULA				
3. FRECUENCIA	30	Días	COSTO NO MATTO (USD)	\$ 120.022
# de veces el año	12,17		COSTO TAREA AL AÑO (USD)	\$ 264