UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAISO-CHILE

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN RCM PARA EL CHANCADOR PRIMARIO FULLER, OPERACIÓN MANTOVERDE

CRISTÓBAL ANDRÉS ZAVALA MEDINA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMÁN BONET

MAYO-2018

Agradecimientos

A Dios por darme fuerzas para salir adelante no importando lo difícil de la situación.

A mis padres Carlos y Jacqueline por darme amor y apoyo incondicional.

A mi polola Ana por su amor y comprensión, por darme ánimos, y estar junto a mí en las buenas y en las malas.

A mis hermanos Andrea, Rodrigo y Felipe por hacerme reír y darme ánimos cuando lo necesitaba.

A mis amigos, en especial a Camilo, Luis, Ángela, Jacqueline y Guillermo que me han ayudado y siempre han estado conmigo, los considero parte de mi familia.

A Lorena, Alexis, Ricardo y Ester por ayudarme y considerarme parte de su familia.

A mi tía Hilda que siempre ha estado preocupada de mí, brindándome una palabra de aliento en los momentos difíciles.

A todas esas personas que me apoyaron en este largo y duro camino, de todo corazón muchas gracias.

Resumen

La minería es una de las principales actividades de la economía nacional. Aportando el 9% del PIB, siendo el área con mayor inversión extranjera con un tercio del total. Chile es el principal productor a nivel mundial de cobre. El 90% del cobre que actualmente se produce de la minería son de minas a rajo abierto.

Como toda industria, la minería, requiere de planes de mantenimiento para sus equipos, los cuales deben cumplir con las metas de producción propuestas. Implementar un plan de mantenimiento que asegure la eficiencia de estas, requiere de un gran conocimiento de los equipos, de los procedimientos de reparación, de sus contextos operacionales, etc. Existe una gran cantidad de factores que pueden influir entre aplicar un tipo de mantenimiento u otro, y para ello se debe realizar un análisis y entender cuáles son los objetivos que se quieren alcanzar.

En el presente trabajo se explica y desarrolla la metodología de gestión de mantenimiento denominada RCM (Reliability Centered Maintenance), que se traduce al español como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Esta herramienta del mantenimiento es aplicada por las gerencias de grandes empresas, las cuales buscan aumentar principalmente la confiabilidad y disponibilidad de sus activos.

Esta metodología se aplicó específicamente al equipo Chancador Fuller Traylor TCB 42”x 66”.

En este trabajo se entregan los principales conceptos de RCM y se desarrolló paso a paso el flujograma de implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, desde el planteamiento de las funciones de los subsistemas hasta determinar las tareas de mantenimiento, para los modos de fallas más frecuentes del equipo.

Abstract

Mining is one of the main activities of the national economy. contributing 9% of the GDP, and it is the area with greater foreign investment, reaching one third of the total. Chile is the world's leading producer of copper. And 90% of its current production comes from open pit mines.

Like every industry, mining requires maintenance plans for their equipment, which must comply with the proposed production goals. Implementing a maintenance plan that ensures the efficiency of this goals, requires a great knowledge of the equipment, repairing, their operational contexts, etc. There are a lot of factors that can influence in wether to apply one type of maintenance or another, and for this you have to analysis and fully understand what are the objectives you want to achieve.

This paper explains and develops the maintenance management methodology called RCM (Reliability Centered Maintenance). This maintenance tool is applied by administrattions of large companies, which mainly seek to increase the reliability and availability of their assets.

This methodology was specifically applied to the grinder machine Fuller Traylor TCB 42 "x 66".

In the paper the main concepts of RCM were delivered and the flowchart of implementation of the Reliability Centered Maintenance was developed step by step, from the presentation of the functions of the subsystems to the determination the maintenance tasks, for the most frequent failure modes of the team.

Glosario

Activo: Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja. Puede ser humano, físico y financiero intangible. Por ejemplo: el personal, centros de trabajo, plantas y equipos, entre otros.

Acción: Es la asignación para ejecutar una tarea o serie de tareas para resolver una causa identificada en la investigación de una falla o problema.

Análisis de Criticidad de Modo de Falla y Efectos (FMECA, Failure Mode, Effects and Criticality Analysis): Es un método que permite cuantificar las consecuencias o impacto de las fallas de los componentes de un sistema, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo.

AISI: Es el acrónimo en inglés de American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero). Es una norma conocida por ser una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos.

ASTM o ASTM International: Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen alrededor de 12.575 acuerdos voluntarios de normas de aplicación mundial.

Araña: Estructura que soporta lateralmente el extremo superior del conjunto del eje principal.

Carcasa inferior: La sección más baja de la estructura del chancador.

Carcasa superior: La sección más alta de la estructura del chancador.

Centro de Costos: Es una división lógica dentro de una organización, establecida con el fin de acumular, distribuir y determinar costos.

Causa de falla: Circunstancias asociadas con el diseño, manufactura, instalación, uso y mantenimiento que hayan conducido a una falla.

Cóncavas: Placas instaladas dentro de las secciones de la carcasa superior del chancador, en el interior de la cámara chancadora. Las placas están hechas de un material de aleación de acero o de acero al manganeso.

Confiabilidad: Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

Confiabilidad operacional: Es la capacidad de un activo (representado por sus procesos, tecnología y gente) para cumplir sus funciones o el propósito que se espera de este, dentro de sus límites de diseño y bajo un Contexto Operacional determinado.

Consecuencia: Resultado de un evento. Puede existir una o más consecuencias de un evento, las cuales sean expresadas cualitativa o cuantitativamente. Por ello, los modelos para el cálculo deben considerar los impactos en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa.

Consecuencia de una Falla: Se define en función a los aspectos que son de mayor importancia para el operador, como el de seguridad, el ambiental y el económico.

Contexto Operacional: Conjunto de factores relacionados con el entorno; incluyen el tipo de operación, impacto ambiental, estándares de calidad, niveles de seguridad y existencia de redundancias.

Contra-eje: Conjunto que consta de una camisa, rodamientos, sellos, ejes y piñón corona. El piñón y corona acciona a la excéntrica.

Contragolpe: Se usa para describir la tolerancia entre el piñón y el engranaje excéntrico.

Criticidad: Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

Chancador Primario: Es la maquinaria que realiza el primer proceso del material. Este puede ser un chancador giratorio, el que está formado por una superficie fija y una superficie móvil, ambas con la forma de un cono invertido. La superficie móvil gira con un movimiento excéntrico en un eje de rotación diferente al de la pieza fija y por lo tanto las rocas son trituradas cuando las dos superficies se encuentran.

Defecto: Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

Deslizamiento: Porcentaje de retraso de la velocidad de giro del rotor respecto de la del campo rotante.

Efecto de falla: Describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

Eje Principal (poste): Eje sobre el cual se pone el o los revestimientos del núcleo y del manto.

Engranaje Excéntrico: Es uno de los engranajes que tienen los chancadores en su interior. Este engranaje este fijo al excéntrico.

Excéntrica: Es la parte del conjunto del chancador que produce el efecto giratorio del eje principal.

Extensión del contra-eje: Conjunto que consta de dos empalmes que conectan el motor de transmisión principal con el conjunto del contra-eje.

Falla: Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.

Falla funcional: Es cuando el ítem no cumple con su función de acuerdo al parámetro que el usuario requiere.

Jerarquización: Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad.

Manto: Pieza de desgaste, montada en el núcleo del eje principal. Generalmente está hecho de acero al manganeso.

Modo de falla: Es la forma por la cual una falla es observada. Describe de forma general como ocurre y su impacto en la operación del equipo. Efecto por el cual una falla es observada en un ítem fallado. Hechos que pueden haber causado cada estado de falla.

Mecanismo de falla: Proceso físico, químico u otro que ha conducido un deterioro hasta llegar a la falla.

Piñón: Engranaje montado en el extremo del contra-eje, transmite la fuerza motriz del motor principal a la excéntrica.

Prioridad: La importancia relativa de una tarea en relación con otras tareas.

Riesgo: Este término de naturaleza probabilística está definido como la "probabilidad de tener una pérdida". Comúnmente se expresa en unidades monetaria. Matemáticamente se expresa como:

$$R(t) = P(t)x\ C$$

Dónde:

R(t) es el riesgo en función del tiempo P (f) es la probabilidad de ocurrencia de un evento en función del tiempo, y C sus consecuencias.

El templado: Es un tratamiento térmico que se emplea para incrementar la dureza de las aleaciones de hierro.

Utilización: La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado.

Índice

Resumen 2
Abstract 3
Glosario 4
Índice 8
Índice Figuras 11
Índice Tablas 13
Índice Anexos 15
1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN 16
1.1 Planteamiento del Problema 16
1.2 Solución Propuesta 17
1.3 Objetivos del trabajo de título 17
1.3.1 Objetivo General 17
1.3.2 Objetivos Específicos 17
1.4 Metodología 17
2. CAPITULO II: ANTECEDENTES GENERALES 19
2.1 Descripción de la empresa 19
2.2 Proceso Productivo 20
2.2.1 Mina 20
2.2.2 Planta 20
2.2.3 Pilas de Lixiviación 21
2.2.4 Proceso de extracción por solventes (SX) 21
2.2.5 Operación de electro obtención (EW) 22
2.3 Descripción de la unidad de mantención 23
2.4 Descripción del equipo 25
2.4.1 Descripción de los componentes principales del equipo 28
3. CAPITULO III: TIPOS DE MANTENIMIENTO Y APLICACIONES 44
3.1 Que es el Mantenimiento 44
3.2 Historia y evolución del Mantenimiento 45
3.3 Origen del RCM 47
3.4 Áreas de acción del Mantenimiento 48
3.5 Tipos de Mantenimiento 49

3.5.1 Mantenimiento Correctivo (Una acción Reactiva No Programada) 50
3.5.2 Mantenimiento Restaurativo (Una Acción Reactiva Programada) 50
3.5.3 Mantenimiento Mejorativo (Una Acción Reactiva Programada) 50
3.5.4 Mantenimiento Preventivo 51
3.5.5 Mantenimiento Predictivo 51
3.5.6 Mantenimiento Proactivo 52
3.5.7 Mantenimiento Detectivo 52
3.5.8 Mantenimiento Previsivo 52
4. CAPITULO IV: MARCO CONCENTUAL 53
4.1 Análisis de Criticidad 53
4.1.1 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad. 53
4.1.2 Elementos para determinar criticidad 53
4.1.3 Pasos del análisis de criticidad 54
4.2 Análisis Funcional 55
4.2.1 Diagrama Entrada Proceso Salida 56
4.2.2 Diagrama Funcional de bloques 57
4.3 Análisis del Árbol de Fallas 58
4.3.1 Pasos del Análisis de árbol de fallas 59
4.3.2 Árbol de fallas del Chancador 61
4.4 EL FMECA 64
4.4.1 Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos. 65
4.4.2 Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico. . 66
4.5 RCM 68
4.5.1 Introducción 68
4.5.2 Definición de RCM 69
4.5.3 El contexto operacional 69
4.5.4 Funciones 70
4.5.5 Fallas funcionales o estados de falla 70
4.5.6 Modos de falla 71
4.5.7 Los efectos de falla 72
4.5.8 RCM Clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos 73
4.5.9 Prevención de la falla 74

4.5.10 Diagrama de flujo del RCM 76
4.5.11 Que logra el RCM 77
5. CAPITULO V: APLICACIÓN DEL RCM 79
5.1 Selección del equipo 79
5.2 Contexto Operacional 80
5.3 Situación actual de mantención del Chancador 80
5.3.1 Costos asociados a la mantención 80
5.3.2 Disponibilidad del Chancador 83
5.4 Grupo de análisis 85
5.5 Resultados 86
5.5.1 Hoja de Información de RCM 86
5.5.2 Hoja de Decisión de RCM 86
5.5.3 Diagrama de Decisión 87
5.5.4 Evaluación de las consecuencias de la falla 88
5.5.5 Factibilidad técnica de tareas proactivas 90
5.5.6 Las preguntas “a falta de” 91
6. CAPITULO VI: RESULTADOS DEL ANALISIS RCM 93
6.1 Araña 93
6.2 Poste 95
6.3 Conjunto Eje piñón y Eje de extensión 97
6.4 Excéntrica 99
6.5 Conjunto cilindro Hidráulico para el posicionamiento del poste 101
6.6 Revestimientos 102
6.7 Sistema de Lubricación del Chancador 104
6.8 Unidad Hidráulica Posicionamiento del poste 107
6.9 Motor Eléctrico 109
CONCLUSIONES 111
REFERENCIAS 113
ANEXOS 114

Índice Figuras

Figura 2.1: Mapa de la región de Atacama en donde se encuentra ubicada la operación Mantoverde. 19
Figura 2.2: Diagrama de bloques del proceso completo de obtención de cátodos de cobre. 22
Figura 2.3: Diagrama de procesos desde el chancador primario, hasta los tambores aglomeradores. 24
Figura 2.4: Ilustración del equipo completo con la señalización de sus principales componentes. 25
Figura 2.5: Denominación medidas chancador primario Fuller, denominación 42 x 66 (pulg). Fuente: Manual chancador. 26
Figura 2.6: Disposición general de chancado primario. 27
Figura 2.7: Conjunto de la araña. Plano araña (ver Anexo C: Detalle de conjunto de la araña del chancador.) Fuente: (FFE Minerals Chile S.A., 2014) 29
Figura 2.8: Conjunto del Poste.(Ver Anexo B). Fuente: (FFE Minerals Chile S.A., 2014) 31
Figura 2.9: Conjunto de la Excéntrica. Fuente: (FFE Minerals Chile S.A., 2014) 33
Figura 3.1: Esquema de inicio del mantenimiento. Fuente: (Tolentino, 2004) 45
Figura 3.2: Evolución del mantenimiento. (Tolentino, 2004) 47
Figura 3.3: Definición de RCM. 48
Figura 3.4: Acciones reactivas y pro-activas. Fuente: (Pistarelli, 2010) 49
Figura 4.1: Matriz de Criticidad. La matriz tiene un código de colores que permiten identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad del equipo o sistema. 53
Figura 4.2: Diagrama EPS (Entrada, Proceso y Salida) del Chancador Fuller Traylor 42” x 66”. 56
Figura 4.3: Diagrama Funcional de Bloques de Chancador. (D., 2003) 57
Figura 4.4: Árbol de fallas de Chancador. (Opazo, 2006) 61
Figura 4.5:Continuación árbol de fallas. 62
Figura 4.6: Continuación árbol de fallas. (Opazo, 2006) 62

Figura 4.7: Continuación árbol de fallas. 63
Figura 4.8: Continuación árbol de fallas. (Opazo, 2006) 63
Figura 4.9: Diagrama de proceso RCM. (Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jiménez, 2010) 69
Figura 4.10:Gráfico condición en función del tiempo. Intervalo P-F. (Oyarzún, 2008) 75
Figura 4.11: Diagrama de flujo del RCM, en donde se muestra la identificación del sistema, la definición de funciones, las fallas y los modos de falla y la identificación de las consecuencias. (Oyarzún, 2008) 76
Figura 5.1: Esquema de un grupo de revisión RCM. (Moubray, 2000) 85
Figura 5.2: Estructura de la Hoja de Información de RCM. (Moubray, 2000) 86
Figura 5.3: Hoja de decisión de RCM. (Moubray, 2000) 86
Figura 5.4: Diagrama de decisión, primera parte. (Moubray, 2000) 87
Figura 5.5: Diagrama de decisión, segunda parte. (Moubray, 2000) 88
Figura 5.6: Paso a paso de cómo se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión. (Nowlan & Heap, 1978) 89
Figura 5.7: Detalle de las consecuencias de falla. Se realiza una breve explicación de que significan los resultados obtenidos al haber llenado las columnas H, S, E y O. (Nowlan & Heap, 1978) 90
Figura 5.8: Criterios de factibilidad técnica. Fuente: Diagrama de decisión RCM. ... 91
Figura 5.9:Los resultados de las preguntas “A falta “ son registradas en las columnas H4, H5 y S4. 92

Índice Tablas

Tabla 2.1: Características generales del equipo. Fuente, Manual del Chancador. 26
Tabla 2.2: Principales características del Eje Piñón y Eje de extensión. 32
Tabla 2.3: Principales características del conjunto de la excéntrica. 34
Tabla 2.4: Revestimientos de la araña. 35
Tabla 2.5: Detalle de cóncavos.(Ver Anexo D) 36
Tabla 2.6: Revestimientos cuerpo inferior. 36
Tabla 2.7: Componentes sistema de lubricación central. 37
Tabla 2.8: Componentes Sistema de Lubricación Araña. 39
Tabla 2.9: Componentes Unidad Hidráulica para el Posicionamiento del Poste. 40
Tabla 2.10: Componentes del Sistema de sellado de Polvo. 42
Tabla 2.11: Características generales del Motor Eléctrico. Los elementos RDT, son sensores de temperatura incorporados en el interior del bobinado estatórico. Se dispone de dos por fase. El tipo de RDT es: 100 Ohm a 0 °C. 43
Tabla 4.1: Criterios para estimar la frecuencia. 54
Tabla 4.2: Categorías de Impacto. 54
Tabla 4.3: Simbología de análisis de Árbol de fallas. (Arata, 2006) 59
Tabla 4.4: Plantilla Descomposición de la máquina. 65
Tabla 4.5: Plantilla FMECA del medio trabajo 66
Tabla 4.6:Plantilla FMECA del medio de trabajo 66
Tabla 4.7: Plantilla A: individualización de los modos de falla, cuantificación de la criticidad y sus efectos. 67
Tabla 4.8: Plantilla B: Análisis de causas de falla e individualización del componente crítico. 67
Tabla 4.9: Tabla de valores de criticidad. 67
Tabla 5.1: Resultados análisis de criticidad, para elegir el activo más crítico dentro del área de chancado. (Extracto de tabla, ver tabla completa en anexos). 79
Tabla 5.2: Resumen de Análisis de Costos de Fallas Críticas. 81
Tabla 5.3: Resultados de Criticidad por Subsistema o componente obtenido del análisis de criticidad y sus posibles costos de falla por pérdidas de producción. 82

Tabla 5.4: Fuente Departamento de mantención Mantos Copper. 84
Tabla 5.5: Datos obtenidos para el día 01 de julio de 2017. Fuente: Mantos Coppper. 84
Tabla 6.1: Hoja de Información RCM : Araña. 93
Tabla 6.2: Hoja de Decisión RCM : Araña 94
Tabla 6.3: Hoja de Información RCM : Poste..... 95
Tabla 6.4: Hoja de Decisión RCM : Poste 96
Tabla 6.5: Hoja de Información RCM : Conjunto Eje piñón y Eje de extensión. 97
Tabla 6.6: Hoja de Decisión RCM : Conjunto Eje piñón y Eje de extensión. 98
Tabla 6.7: Hoja de Información RCM : Excéntrica. 99
Tabla 6.8: Hoja de Decisión RCM : Excéntrica..... 100
Tabla 6.9: Hoja de Información RCM : Hydroset..... 101
Tabla 6.10: Hoja de Decisión RCM : Hydroset 101
Tabla 6.11: Hoja de Información RCM : Revestimientos..... 102
Tabla 6.12: Hoja de Información RCM : Revestimientos..... 103
Tabla 6.13: Hoja de Información RCM : Sistema de Lubricación del Chancador (parte 1). 104
Tabla 6.14: Hoja de Información RCM : Sistema de Lubricación del Chancador (parte 2). 105
Tabla 6.15: Hoja de Decisión RCM : Sistema de Lubricación del Chancador. 106
Tabla 6.16: Hoja de Información RCM : Unidad Hidráulica posicionamiento del poste. 107
Tabla 6.17: Hoja de Decisión RCM : Unidad Hidráulica posicionamiento del poste. 108
Tabla 6.18: Hoja de Información RCM : Motor Eléctrico. 109
Tabla 6.19: Hoja de Decisión RCM : Motor Eléctrico. 110

Índice Anexos

Anexo A: Chancador Primario 114
Anexo B: Detalle de las partes del poste del chancador. 115
Anexo C: Detalle de conjunto de la araña del chancador. 116
Anexo D: Detalle de cóncavas chancador giratorio. 117
Anexo E: Cilindro Hidráulico sistema de ajuste. 117
Anexo F: Revestimientos Cuerpo Inferior 118
Anexo G: Conjunto Eje Piñón 119
Anexo H: Conjunto Eje de extensión. 119
Anexo I: Sistema de lubricación de la araña. 120
Anexo J: Plantilla descomposición del Chancador Fuller. 121
Anexo K: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Araña). 126
Anexo L: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Cuerpo del Chancador). 127
Anexo M: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Poste). 127
Anexo N: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Eje piñón y Eje de extensión). 130
Anexo O: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Excéntrica). 131
Anexo P: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste). 132
Anexo Q: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Revestimientos). 133
Anexo R: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Sistema de Lubricación del Chancador). 134
Anexo S: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Unidad Hidráulica posicionamiento del poste). 137
Anexo T: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Sistema Eléctrico). 139
Anexo U: Diagrama de decisión RCM2. Fuente: (Moubray, 2000) 1
Anexo V: Matriz de Criticidad. 1
Anexo W: Resultados de análisis de criticidad para el área de chancado, operación Mantoverde. 1
Anexo X: Resultados del análisis de criticidad para los componentes del Chancador. 3

1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

El mantenimiento de los equipos que operan en la producción de las plantas de minería es una actividad crítica en el proceso productivo minero, sobre todo porque éstos son requeridos en forma intensiva, por esta razón la mantención es un tema fundamental en la actividad minera. Los programas de mantención deben considerar la disminución de los tiempos de detención y la seguridad de los trabajadores que deben realizar esta tarea con equipos complejos y muchas veces de gran tamaño. A esto se suma el escenario actual, donde las compañías mineras están focalizadas en mayor productividad y menores costos en todo lo que involucra su operación.

El mantenimiento puede considerarse como una fuente de ingresos de una empresa, concepto diferente al de la teoría clásica en la que se consideraba el mantenimiento como un mal necesario. Para que el mantenimiento sea considerado como generador de ingresos debe ser tratado con estrategias correctas. La teoría tradicional, consideraba al mantenimiento como un mal necesario, la principal preocupación de las direcciones industriales radicaba en disminuir los costos de mantenimiento, contribuyendo de esta manera a la deducción de costos general de la empresa. Pero puede verse que un mantenimiento inadecuado afecta a la totalidad del funcionamiento de la empresa ya que:

- Limita los volúmenes de producción.
- Afecta la calidad.
- Puede ocasionar accidentes.
- El medio ambiente, a su vez, puede resultar dañado.
- Genera costos indirectos que superan largamente el costo tradicional de mantenimiento, tales como alquiler de equipos, contratación de servicios de reparaciones, etc.

Los costos indirectos en mantenimiento son varias veces superiores a los directos. No basta con hacer las tareas de mantenimiento correctamente, sino que esas tareas de mantenimiento deben ser las correctas.

La compañía minera Mantos Copper, operación Mantoverde no está exenta de esta situación, aplicando muchas veces mantenimiento correctivo a su chancador primario Fuller, lo que afecta directamente en los volúmenes de producción y en los costos de mantenimiento.

1.2 Solución Propuesta

Implementar un plan de mantenimiento basado en RCM para optimizar los recursos y generar mayores beneficios. Con esto tratar de disminuir las paradas de planta no programadas de mantención y de esta forma aumentar la confiabilidad del equipo y del proceso productivo en general.

1.3 Objetivos del trabajo de título

1.3.1 Objetivo General

- Proponer un plan de mantenimiento preventivo basado RCM de una chancador primario Fuller, operación Mantoverde.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los componentes críticos del equipo.
- Proponer un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para un chancador primario Fuller.
- Analizar todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrollar mecanismos que traten de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determinar una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.
- Obtener la relación costo-beneficio de implementar el plan de mantenimiento para determinar la factibilidad del mismo.

1.4 Metodología

- Describir el problema, la solución y los objetivos de este trabajo.
- Describir el funcionamiento del Departamento de Mantención encargado del mantenimiento del chancador Fuller.

- Conocer los tipos de Mantenimiento, definirlos y plantear su campo de aplicación.
- Conocer el funcionamiento de cada una de las partes del chancador.
- Definir la criticidad de los componentes del chancador a través del FMECA, herramienta empleada en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Plantear los pasos del RCM con la información analizada en los puntos anteriores.
- Desarrollar la metodología RCM y finalmente entregar un plan de mantenimiento Basado en RCM.

2. CAPITULO II: ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Descripción de la empresa

Mantos Copper, es una compañía minera dedicada a la extracción y comercialización de cobre, que cuenta con dos operaciones en el norte de Chile, Mantos Blancos Y Mantoverde ubicadas en la Región de Antofagasta y Atacama respectivamente, con una producción total de 107 mil toneladas de cobre fino al año.

La operación Mantoverde está ubicada a 50 kilómetros del puerto de Chañaral, en la Región de Atacama. Comprende una mina de cobre a rajo abierto, con una planta de chancado, sistema mecanizado de transporte y apilamiento del material; lixiviación en pilas y un proceso de extracción por solventes y electro-obtención.

Además, cuenta con una planta desalinizadora de agua de mar, lo que les permite alimentar sus procesos productivos.

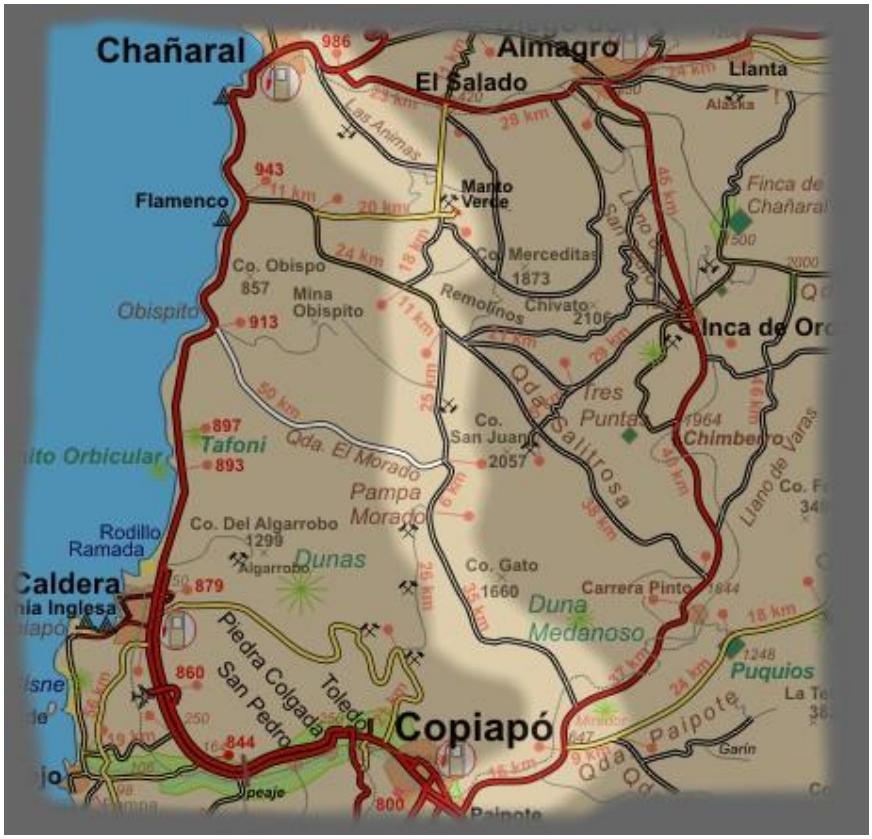


Figura 2.1: Mapa de la región de Atacama en donde se encuentra ubicada la operación Mantoverde.

2.2 Proceso Productivo

El proceso productivo en grandes rasgos consiste en:

2.2.1 Mina

- Mina a rajo abierto: Operación minera en la que el proceso extractivo se realiza en la superficie.
- Perforación: El macizo rocoso se perfora en los puntos de mayor debilidad para la introducción de los explosivos.
- Tronadura: Mediante una reacción físico-química se encadena, los explosivos producen la fisura y fragmentación del macizo rocoso.
- Extracción: El mineral tronado es removido con cargadores frontales y/o palas.
- Carguío y transporte: Los minerales son cargados y transportados a distintos destinos según la calidad del mineral. El estéril (mineral de ley menor a 0,2%) se lleva a los botaderos. El mineral que tiene una ley mayor a 0,5% es depositado en pilas para ser tratado vía lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención.

2.2.2 Planta

- Chancado Grueso: La etapa de chancado grueso se realiza en un solo chancador Fuller Traylor 42”x 66”, donde el mineral llega a este lugar proveniente de la mina a rajo abierto a través de camiones. Este punto es la primera etapa de reducción de tamaño del mineral, siendo reducido de tamaño a un promedio de Ø 4 ½”. Se procesan alrededor de 30.000 toneladas al día.
- Chancado fino: Esta etapa se realiza en una planta llamada planta de chancado fino, en la cual existe un chancador secundario y tres chancadores terciarios, los cuales se encargan de reducir el tamaño del mineral a ½” de diámetro aproximadamente.
- Planta Harneros: el material es clasificado a través de harneros, se logra una granulometría del material menor de Ø½” a Ø1”, si el material no cumple este

requisito se devuelve a la planta de chancado fino mediante una correa transportadora.

- Aglomerado: En esta etapa las partículas finas del mineral se juntan y adhieren alrededor de los fragmentos más gruesos formando pellets (bolitas). La alimentación de los tambores aglomeradores consiste en: Tonelaje de mineral seco vía alimentador, refino, ácido sulfúrico y agua de proceso en forma alternativa.

2.2.3 Pilas de Lixiviación

Formación de la pila: el material chancado es llevado mediante correas transportadoras hacia el lugar donde se formará la pila. En este trayecto el material es sometido a una primera irrigación con una solución de agua y ácido sulfúrico, conocido como proceso de curado, de manera de iniciar ya en el camino el proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados. En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcidor, que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: la pila de lixiviación. Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material. (Codelco, 2017)

Mediante el sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución ácida de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre, la que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas. El riego de las pilas, es decir, la lixiviación se mantiene por 45 a 60 días, después de lo cual se supone que se ha agotado casi completamente la cantidad de cobre lixiviable. El material restante o ripio es transportado mediante correas a botaderos. (Codelco, 2017)

2.2.4 Proceso de extracción por solventes (SX)

La planta SX recibe la solución rica generada en la etapa de lixiviación en pilas de minerales de cobre. Esta solución se caracteriza por tener una baja concentración de

cobre disuelto, junto con impurezas como el Fe, Cl, Al, Mn, Mg, Na y otros disueltos durante el proceso. El objetivo del proceso SX es extraer selectivamente el cobre contenido en esta solución rica impura, mediante intercambio iónico entre la fase acuosa (solución rica) y el reactivo orgánico. Este reactivo es capaz de descargar el cobre en una etapa posterior del proceso a una solución de alta pureza y concentración de cobre y ácido, formando un electrolito apto para ser electrodepositado en el sector EW. (Arenas, 2006)

2.2.5 Operación de electro obtención (EW)

La Electroobtención consiste en una electrólisis mediante la cual se recupera el cobre de la solución proveniente de la lixiviación, obteniéndose cátodos de alta pureza. Se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergida en la solución. El electrodo conectado al polo positivo se conoce como ánodo, y el conectado al negativo como cátodo, en el cual se obtienen cátodos de cobre de alta pureza (99,9% de cobre).

A continuación, se presenta un diagrama de bloques del proceso completo de obtención de cátodos:

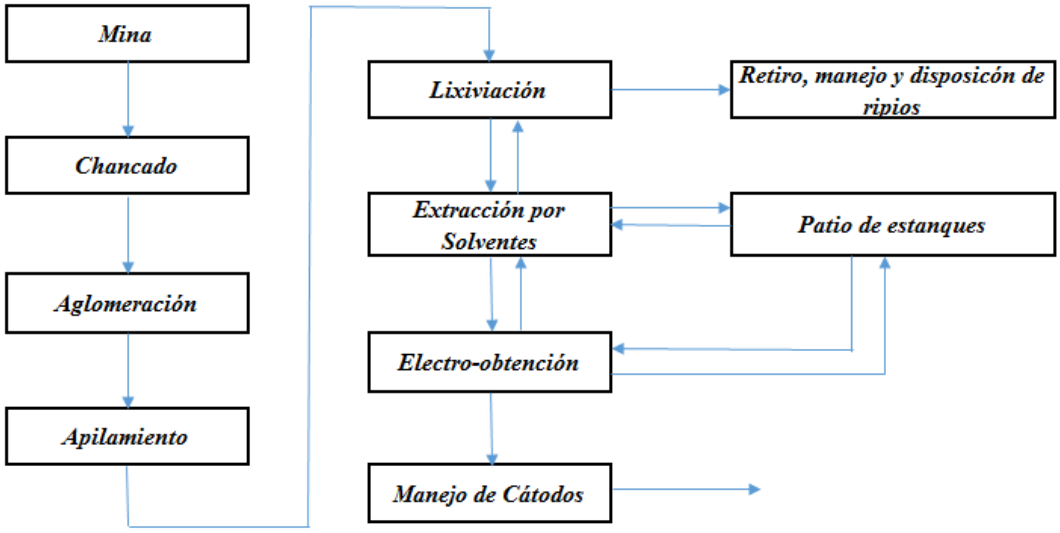


Figura 2.2: Diagrama de bloques del proceso completo de obtención de cátodos de cobre.

2.3 Descripción de la unidad de mantención

El área de mantención de la compañía minera Mantos Cooper división Mantoverde tiene como misión mantener operativos todos los equipos de la planta, desde el Chancador primario Fuller hasta la planta de SX-EW. Para ello el departamento de mantención tiene el apoyo de empresas colaboradoras o de servicios, entre ellas la que está encargada de la mayor parte del mantenimiento de la planta es la empresa Soc. Asmeco Ing. Ltda. La cual está encargada de llevar a cabo el plan de mantenimiento de Mantos Copper para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Actualmente se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Para el caso del chancador primario se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para los componentes más críticos y para lo demás se aplica mantenimiento correctivo. Debido a esto y al compromiso de la empresa por desarrollar mejores planes de mantención se está estudiando un nuevo plan de mantención basado en RCM, el cual aumentaría la confiabilidad de este equipo.

El área de chancado primario tiene como objetivo alimentar a la planta con material de 4 ½”. Bajo el chancador primario se encuentra el alimentador CA-10 el cual alimenta la correa CT-10, la que posee un contrapeso de 23 toneladas, para asegurar la tensión adecuado de la correa, y así evitar que se produzcan problemas de deslizamiento en las poleas motrices. Además, la correa cuenta con un electro imán el que está encargado de atraer los objetos metálicos que por diferentes circunstancias hayan pasado por el chancador primario y hayan llegado a la correa CT-10, es importante retirar estos objetos ya que pueden dañar la correa transportadora.

La correa CT-10, deposita el material en un Stockpile que posee 3 alimentadores (CA-20, CA-30 y CA-40), de los cuales solo dos están operativos, y el tercero se encuentra en stand by. Luego el material llega a la correa CT-20 la cual descarga en el harnero Scalper (HA-10), este se encarga de separar el mineral según su granulometría, el material de mayor tamaño pasa al chancador secundario y el de menor tamaño pasa a la correa CT-30 para dirigirse a través de las correas CT-40 y luego CT-50 hacia la planta de harneros, en este lugar se vuelven a separar las partículas por

tamaño, las de menor tamaño se dirigen hacia un Silo de almacenamiento a través de la correa CT-70, y las de mayor tamaño se devuelven hacia la planta de chancado fino a través de la correa CT-60, la cual mediante un tripper se encarga de distribuir uniformemente la carga entre tres alimentadores y estos hacia los chancadores terciarios, los cuales disminuyen el tamaño. El silo de almacenamiento se encarga de alimentar dos correas transportadoras (CT-80 y CT-90) que alimentan a los tambores aglomeradores Aglo-10 y Aglo-20 respectivamente.

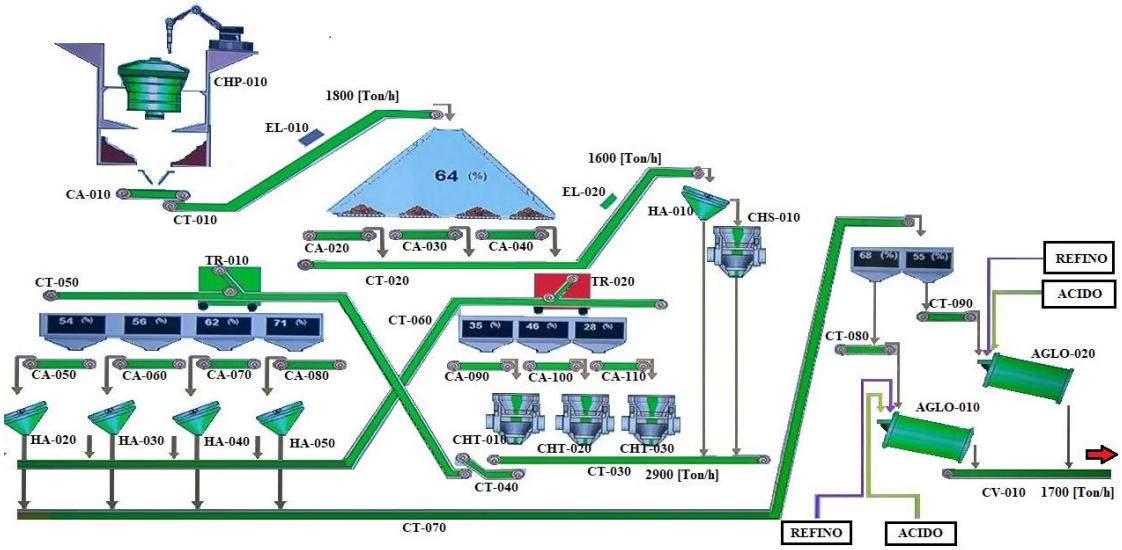


Figura 2.3: Diagrama de procesos desde el chancador primario, hasta los tambores aglomeradores.

2.4 Descripción del equipo

El Chancador Primario de la Planta es un chancador giratorio, tamaño 42” x 66” especificado para una capacidad de 1380 [tmph]. Es accionado directamente por un conjunto motriz compuesto de: motor eléctrico de 400 HP, eje de extensión, y una transmisión cónica piñón-corona con dientes en espiral.

Está equipado con un sistema hidráulico, para ajustar la posición vertical de operación del eje principal, sistemas de lubricación con refrigeración mediante ventilador y la instrumentación requerida para su funcionamiento.

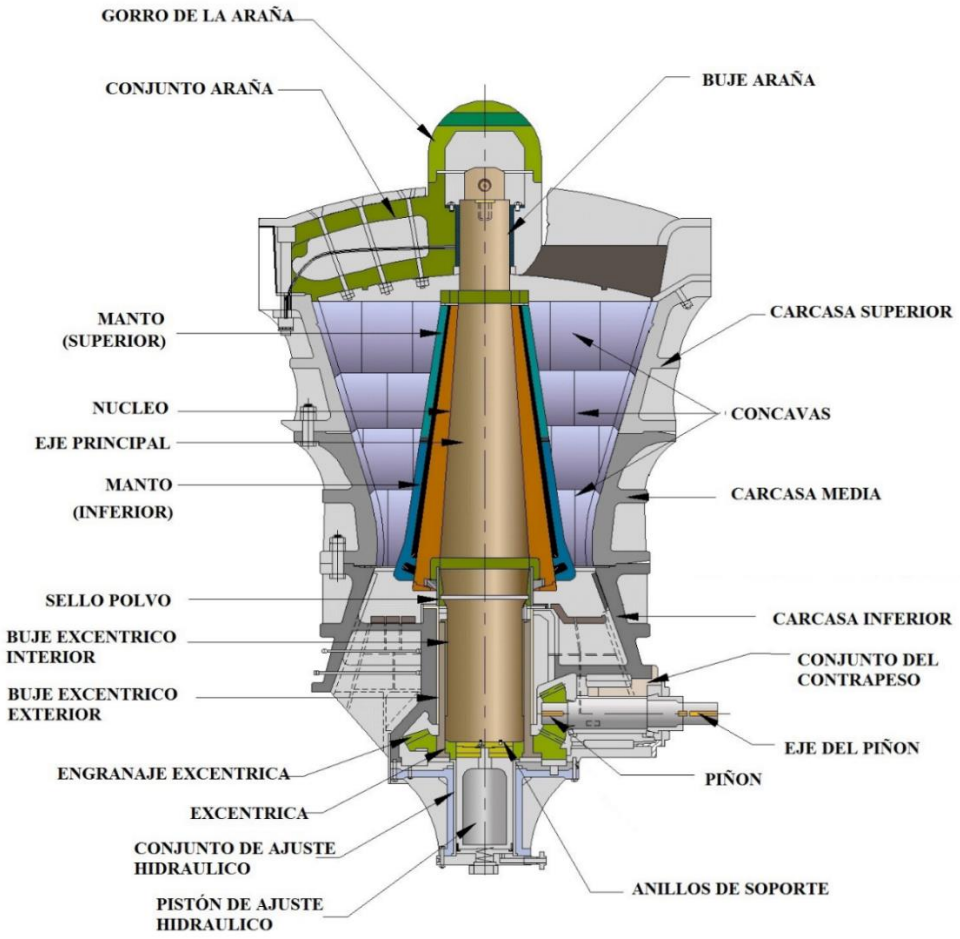


Figura 2.4: Ilustración del equipo completo con la señalización de sus principales componentes.

Las características generales de este equipo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Características generales del equipo. Fuente, Manual del Chancador.

Fabricante	Fuller Company
Tipo (Modelo)	Traylor TCB
Tamaño	42” x 66”
Capacidad de diseño para CSS de 140 [mm]	1380 [Tmph]
Paso excéntrico standard	38 [mm]
Potencia máxima con excentricidad máx.	400 [Kw]
Ajuste Máximo de abertura superior	241 [mm]
Ajuste Mínimo de abertura	102 [mm]
Ajuste recomendado de abertura superior	140 [mm]
Velocidad de operación del eje principal	147 [RPM]
Velocidad del eje del piñón	690 [RPM]
Carrera total del eje principal	254 [mm]

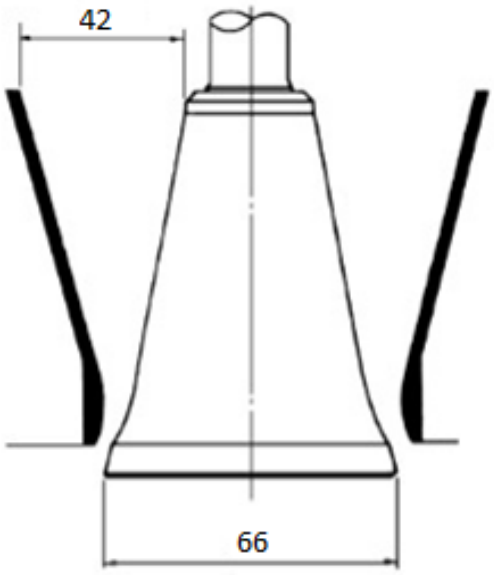


Figura 2.5: Denominación medidas chancador primario Fuller, denominación 42 x 66 (pulg). Fuente: Manual chancador.

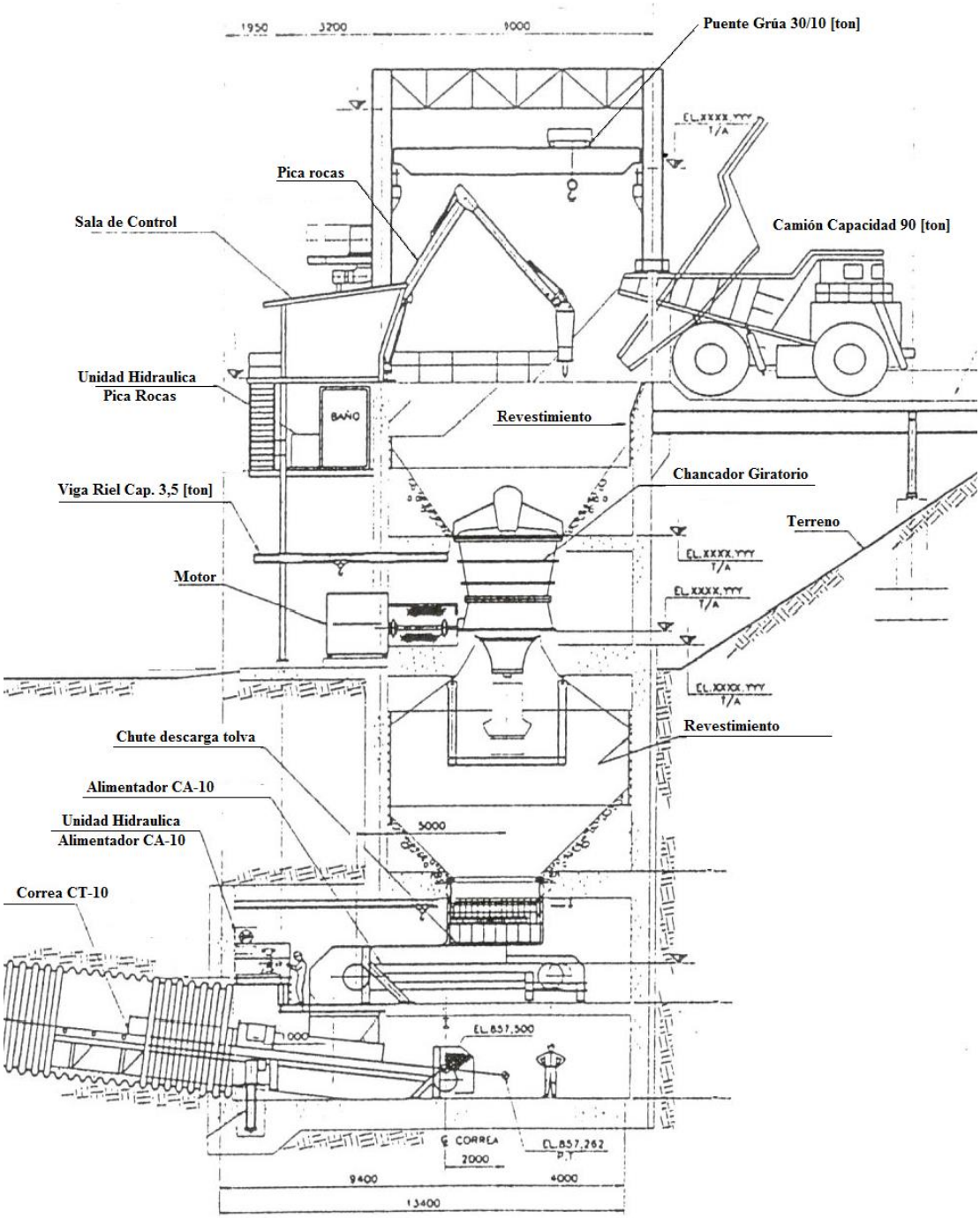


Figura 2.6: Disposición general de chancado primario.

2.4.1 Descripción de los componentes principales del equipo.

Principales componentes:

- Araña
- Cuerpo
- Poste
- Conjunto Eje Piñón y Eje de Extensión
- Conjunto Cilindro Hidráulico para Posicionamiento del Poste
- Revestimientos
- Sistemas de Lubricación de Chancador
- Unidad Hidráulica para el posicionamiento del poste
- Sistema Sellado de Polvo
- Sistema Eléctrico
- Instrumentación y Control
- Carro Extracción de la Excéntrica.

2.4.1.1 Araña

Este conjunto va unido al cuerpo superior mediante seis pernos y lo componen una pieza principal de acero fundido ASTM A-27, un cono central, revestimientos de protección fabricados en acero al manganeso ASTM A-128 Gr B3, un buje central de bronce ASTM B-584 y manguera para la conducción de la grasa de lubricación. El peso aproximado del conjunto es de 9,5 [ton].

Su función básica es guiar al extremo superior del eje principal para que este pueda efectuar el movimiento pendular necesario para el chancado. Además, está protegido con corazas, pues recibe el impacto de la carga de alimentación y su diseño permite distribuir en forma uniforme el material en la cámara de chancado del equipo.

El eje gira suelto en el buje debido a la holgura que existe entre ambas piezas. El conjunto es lubricado con grasa a presión. Un sello de goma, sujeto en la parte inferior del buje, impide que la grasa caiga a la cámara de chancado.

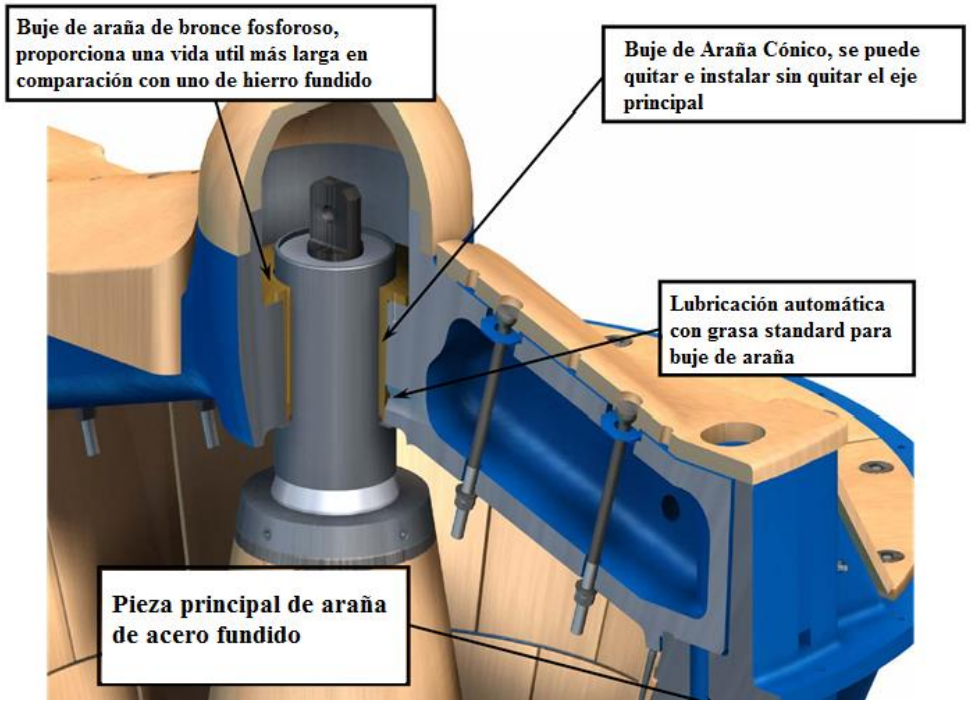


Figura 2.7: Conjunto de la araña. Plano araña (ver Anexo C: Detalle de conjunto de la araña del chancador.)
Fuente: (FFE Minerals Chile S.A., 2014)

2.4.1.2 Cuerpo

El cuerpo es la estructura principal del equipo sobre el cual se fijan todos los componentes del chancador y se apoya sobre la fundación; está construido en acero fundido calidad ASTM A-27. El cuerpo lo forman dos partes, las cuales se montan una sobre otra en los respectivos alojamientos maquinados unidos entre sí mediante 24 pernos M72 para constituir un módulo compacto. Todo el conjunto tiene un peso aproximado de 50 [ton] sin revestimiento. El cuerpo se divide en dos secciones superior e inferior.

Cuerpo Superior: Es una pieza de forma tronco-cónica invertida; en la parte superior se monta el conjunto de la araña y en el interior se alojan los revestimientos, denominados cóncavos. Constituye la parte fija para la acción de chancado y está ubicada sobre el cuerpo inferior. El peso aproximado de este conjunto es de 26 [ton]. (ver apéndice D)

Cuerpo Inferior: Es una pieza de forma tronco-cónica con nervadura exterior de refuerzo y superficies de apoyo para la fijación a la fundación en su parte inferior. Por arriba, una superficie maquinada sirve de base para el cuerpo superior.

Su peso, sin los revestimientos que la protegen, es de aproximadamente 24 [ton]. En su interior se encuentra el alojamiento y buje en cuya interior gira el conjunto de la excéntrica. Sobre este alojamiento se fija mediante 12 pernos M24 el buje para el sello de polvo.

Forman parte también del cuerpo inferior cuatro segmentos circulares de acero que sirven de tope vertical de revestimientos. Perpendicular al eje se encuentra el alojamiento para el conjunto del eje piñón. (ver apéndice F)

2.4.1.3 Poste

Este conjunto está compuesto por el eje principal, el núcleo cónico, el revestimiento de dos secciones, elementos posicionadores superiores e inferiores y sello contra polvo. Además, en su parte inferior está el apoyo convexo del asiento esférico.

Este conjunto corresponde a la parte móvil del chancador, acción que ejecuta con el movimiento que le induce la excéntrica. El conjunto de elementos que componen el sello, impiden que el polvo que se genera durante el chancado, penetre en la excéntrica y en los otros elementos que se encuentran en el interior del equipo, evitando así su desgaste prematuro por abrasión.

El eje es una pieza de acero forjado AISI 1020 maquinada y el núcleo cónico de acero ASTM A-27 Gr 70-40. Todo el conjunto tiene un peso aproximado de 27 [ton].

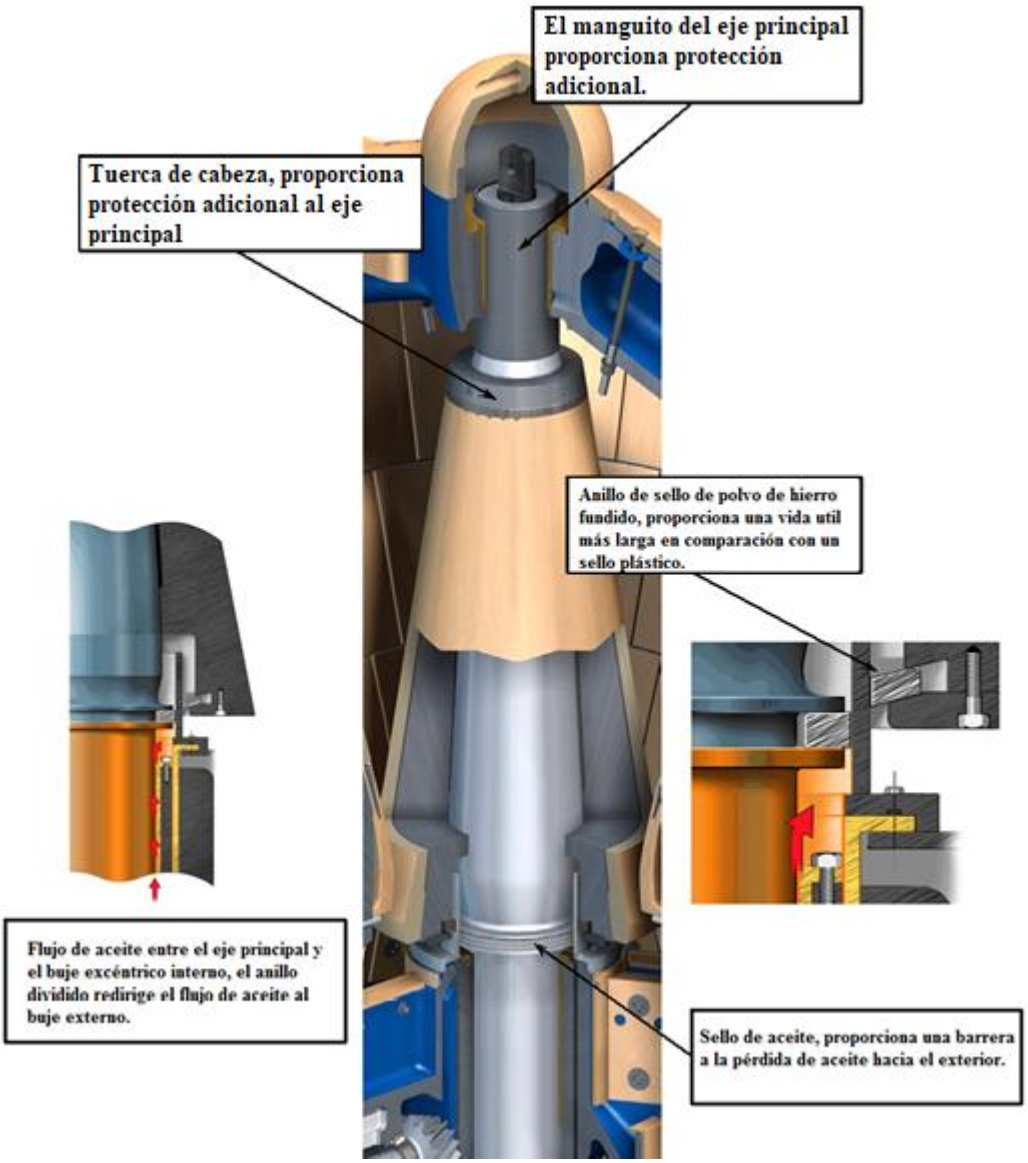


Figura 2.8: Conjunto del Poste.(Ver Anexo B). Fuente: (FFE Minerals Chile S.A., 2014)

2.4.1.4 Conjunto Eje Piñón y Eje de Extensión

El conjunto consiste en una caja fundida en acero calidad ASTM A-48, que aloja los rodamientos que soportan al eje. El eje lleva en un extremo el piñón cónico y en el otro extremo un acoplamiento flexible que lo une, por medio de un eje de extensión y otro acoplamiento similar, con el motor eléctrico.

Esta unidad va apernada al cuerpo inferior, con su eje longitudinal perpendicular al eje del chancador. Las superficies de apoyo en la carcasa inferior le permiten un

posicionamiento de manera tal, que los dientes del piñón engranen con la corona con la debida holgura.

La caja del eje contiene el aceite necesario para la lubricación y lleva un sensor de temperatura para cada rodamiento.

El piñón es un engranaje cónico de dientes en espiral fabricado en acero forjado AISI 4320 y está unido al eje, que es de acero forjado ISI 1020, por ajuste a presión y chaveta.

Sus principales características son:

Tabla 2.2: Principales características del Eje Piñón y Eje de extensión.

Paso diametral	1,206
Número de dientes	16
Dureza superficial	560-600 HBN
Anchura del diente	178[mm]
Peso total Aproximado	1 [ton]
Juego Axial del Contraeje	0,001”-0,005”

Eje de extensión: Entre el eje del piñón y el motor hay un eje de extensión de 127 [mm] de diámetro y 1829 [mm] de longitud, mecanizado en acero AISI-1018, unido a través de dos acoplamientos FALK 1035-G-52 con sus respectivas chavetas. El peso del eje y los acoplamientos es de 0,3 [ton] aproximadamente.

2.4.1.5 Conjunto de la Excéntrica

Este conjunto consta de cuatro piezas principales: la excéntrica, el buje del eje principal, la corona dentada y el conjunto placa inferior, además de los elementos de fijación. Todo este conjunto tiene un peso aproximado de 3,8 [ton].

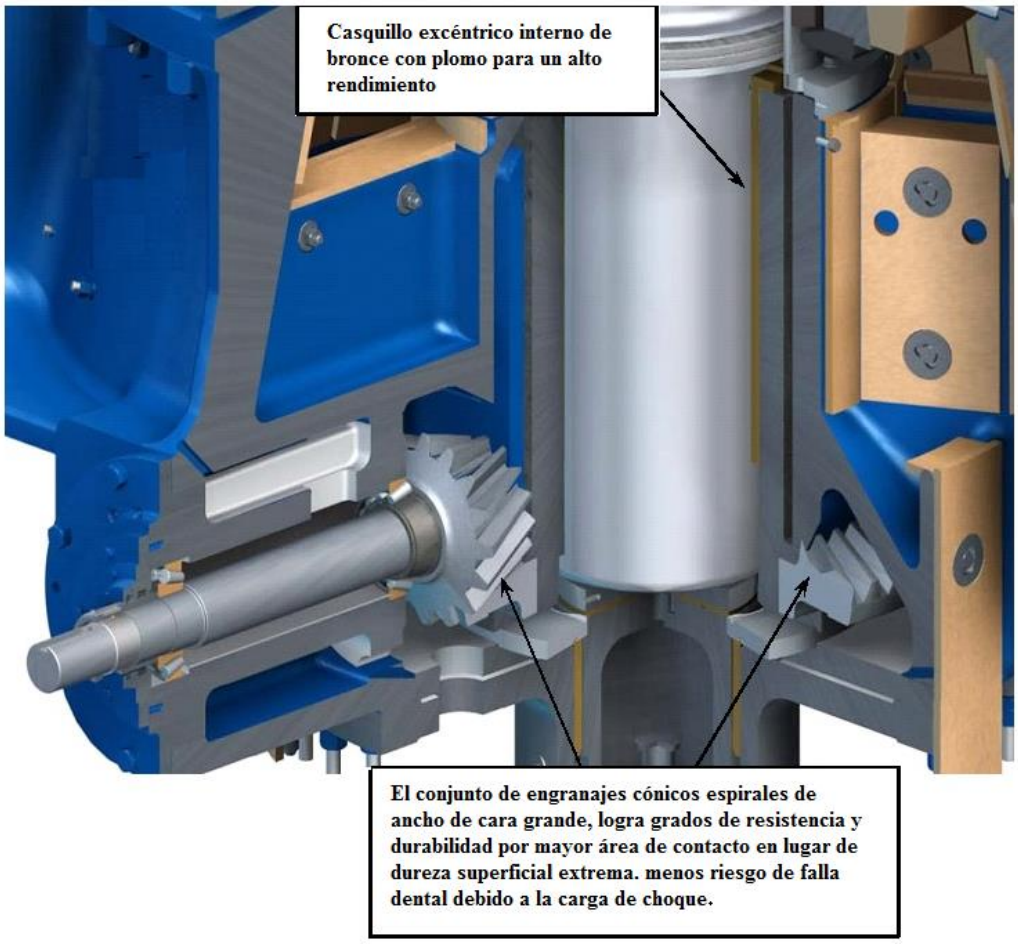


Figura 2.9: Conjunto de la Excéntrica. Fuente: (FFE Minerals Chile S.A., 2014)

Por medio de la corona este conjunto se hace girar en el buje de la estructura inferior, debido a que su perforación central es excéntrica e inclinada, genera sobre el eje principal un movimiento oscilante circular.

La placa inferior sirve de soporte axial al conjunto excéntrico. Se ubica entre el cuerpo inferior y el conjunto de posicionamiento del poste. La excéntrica se apoya en la placa inferior teniendo entre ambas un disco de desgaste de bronce fundido calidad ASTM-B584. También tiene un canal que recolecta el aceite lubricante y perforaciones de pasada para su descarga.

Los bujes están fabricados en bronce calidad ASTM B-584 y la excéntrica en acero ASTM A-27.

La corona está fabricada en acero fundido calidad AISI 4340, y va unida a presión y con chaveta a la excéntrica.

Sus principales características son:

Tabla 2.3: Principales características del conjunto de la excéntrica.

Paso diametral	1,206
Número de dientes	78
Dureza superficial	280-320 HBN
Anchura del diente	178[mm]

2.4.1.6 Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste.

Esta ubicado bajo la placa inferior y apernado al cuerpo inferior del chancador. Consta de un piston tipo buzo, en cuya parte superior se encuentra el asiento esferico. A traves de la soportación del cilindro esta la descarga del aceite lubricante que retorna al estanque. Tiene un peso aproximado de 6,9 [ton]. (Ver Anexo E)

Su función es la de soportar al poste, a traves del asiento esferico y regular su posición, dependiendo de las condiciones de operación requeridas. En su parte inferior se encuentra el indicador de posición del eje.

El asiento esferico lo componen tres piezas:

- Una placa circular plana de desgaste, de bronce calidad ASTM-B584, que se apoya sobre el pistón buzo.
- Una placa circular plana/concava, de acero calidad AISI 1095, templada, con una dureza de 300 HBN, que descansa sobre la placa anterior.
- Una placa circular plana/convexa, de bronce calidad ASTM-B584, fija e el extremo inferior del eje principal por medio de una espiga.

La lubricación del asiento esferico se realiz a traves de una perforación central en la cabeza del pistón, el cual es hueco.

El pistón esta fabricado en acero fundido calidad ASTM-A27 y se desplaza en dos bujes de bronce lubricados con el mismo aceite del asiento esferico.

El sello del pistón es un conjunto de anillos de sección “V”, con adaptadores y un anillo de goma.

El cuerpo del cilindro es de acero fundido y tiene alojados en su interior los bujes de bronce calidad ASTM-B584 por donde se desplaza el pistón. En un costado tiene la conexión para la lubricación. En su parte inferior, una tapa de acero de 150 [mm] de espesor, apernada al cuerpo, cierra la camara de presión.

El aceite proveniente de la central hidraulica, entra por una perforación lateral. En el centro de la tapa esta montado el indicador de posición del eje principal.

2.4.1.7 Revestimientos

Los revestimientos son piezas de recambio, en su mayoría fijas al equipo por medio de pernos, cuya función principal es proteger las partes del chancador expuestas a desgaste debido al impacto y roce del mineral. Son piezas de desgaste fundidas, y están fabricadas en acero resistente a la abrasión y los golpes y su reemplazo es sencillo.

Por lo general, entre el revestimiento y la pieza protegida se coloca material de respaldo epóxico, con el fin de lograr un buen apoyo, amortiguar vibraciones y soportar pequeñas deformaciones que pueda sufrir el revestimiento por causa de los impactos.

- **Revestimiento Araña:** Fabricado en acero calidad ASTM-A128 Grado B-3, tiene por función proteger los brazos y el sector central de ella. Estos revestimientos se fijan al cuerpo mediante 3 pernos cabeza cónica M48.

Tabla 2.4: Revestimientos de la araña.

ITEM	CANT.	DENOMINACIÓN
1	2	Coraza del brazo
2	2	Placa de desgaste lado derecho
3	2	Placa de desgaste lado izquierdo
4	1	Casco de la Araña

- **Cóncavos:** Este conjunto de piezas es el que se encuentra en la parte fija del equipo. Está constituido por dos corridas de cóncavos; cada una tiene un número determinado de componentes, según su posición, más un cóncavo llave, que es el que cierra la corrida. Este es el primero que se retira antes de sacar los demás cóncavos.

  Los cóncavos son fundidos en acero manganeso calidad ASTM-A128 Grado B-3 y tienen en conjunto un peso aproximado a las 11,36[ton]. Están unidos al cuerpo por medio de material de respaldo epóxico.

Tabla 2.5: Detalle de cóncavos.(Ver Anexo D)

ITEM	CANT.	DENOMINACIÓN	PESO (TON)	TOTAL
1	8	Cóncavo Superior	0,77	6,16
2	8	Cóncavo Inferior	0,65	5,20
		Peso Total		11,36

- **Revestimiento Cuerpo Inferior:** Protege los elementos que se encuentran en la zona de descarga del material chancado, entre ellos el interior de la estructura, la caja del eje del piñón y caja de engranajes. Están fabricados en acero manganeso calidad ASTM-A128 Grado B-3.

Tabla 2.6: Revestimientos cuerpo inferior.

ITEM	CANT.	DENOMINACIÓN	PESO (TON)	TOTAL
1	3	Nervadura. Montura	0,10	0,30
2	3	Nervadura. Montura	0,10	0,30
3	3	Nervadura. Montura	0,10	0,30
4	1	Caja Eje Piñón. Montura	0,17	0,17
5	1	Caja Eje Piñón. Montura	0,17	0,17
6	1	Caja Eje Piñón. Montura	0,17	0,17
7	2	Engranaje. Placa Lateral	0,27	0,54
8	1	Engranaje. Placa Lateral	0,27	0,27
9	1	Engranaje. Placa Lateral	0,27	0,27
		Peso Total:		2,49

- **Revestimiento Poste:** El revestimiento de la cabeza, que es el componente activo móvil de chancado, está constituido por dos piezas: el manto superior y el inferior. Ambos están fijos al núcleo por su ajuste cónico y la tuerca de la cabeza; además llevan un respaldo de material epóxico, el cual ayuda a posicionarlos con respecto al núcleo.

  Ellos son fundidos en acero manganeso calidad ASTM-A128, grado E-1. La tuerca superior está fabricada en acero forjado AISI 1045, con tratamiento térmico.

  Dado que la duración del manto inferior es aproximadamente la mitad que la de los cóncavos, el equipo trae dos mantos; se debe instalar primero el de diámetro menor y después el de diámetro mayor. Esto hace posible lograr nuevamente el setting mínimo, aun con los cóncavos gastados.

2.4.1.8 Sistemas de lubricación del Chancador

El equipo tiene para su operación dos sistemas independientes, que son:

- Sistema de Lubricación Central.
- Sistema de Lubricación de la Araña.

Tabla 2.7: Componentes sistema de lubricación central.

ITEM	CANT.	NOMBRE	CARACTARISTICAS PRINCIPALES
1	3	Válvula	Mariposa ø 2 ½, tipo Wafer
2	3	Base	Montaje Motor Bomba
2ª	3	Bomba de Tornillo	28 GPM a 100 psi y 1000 rpm
2b	3	Motor eléctrico	5 HP, 1000 rpm, 400 Volts/3f/50 Hz, TEFC, 1,15 FS, Frame 254 TC
2c	3	Acoplamiento	Cruceta de goma
2d	3	Adaptador motor	Montaje con flange de bomba
3	2	Válvula de alivio	Ø 1 ½” NPT, 60-175 psi
4	1	Válvula de alivio	Ø 1 ½” NPT, 60-175 psi
5	3	Válvula de retención	Ø 1 ½” NPT
6	5	Válvula bola	Ø 1 ½” NPT
7	2	Filtro de cartucho	Ø 1 ½” NPT, 150 psi, 60 micrómetros
7a	2	Válvula bola	3 vías, Ø 1 ½” NPT
8	3	Válvula bola	Ø ¼” NPT
8ª	2	Válvula bola	Ø 1/2” NPT
9	1	Válvula de retención	Ø 1 ½” NPT, ajustada a 25 psi
10	1	Interruptor de presión diferencial	0-25 [psi], con indicador, SPDT
11	2	Interruptor temperatura	75-205°F, SPDT, Nema 4
12	1	Respiradero	Ø 2” NPT, con filtro de 10 micrómetros.
12a	1	Tapón de llenado	Con tamiz
13	1	Indicador de nivel	36”
14	1	Interruptor de nivel	1/8” MNRT
15	3	Calefactor	6 [kW] cada uno, 400 volts/3f/50 Hz, Ø 3” x 72”
16	3	Manguera conexión	Ø 2 ½”, flexmaster
17	1	Válvula de bola	Ø 2” NPT
18	3	Filtro	Ø 1 ½” NPT, W/20 malla
19	1	Estanque	600 galones
20	1	Canastillo	
21	1	Válvula bola motorizada	Ø 1 ½” NPT con motor 115V/1f/50 Hz
22	1	Indicador de temperatura	0-250°F
23	1	Termocupla	
24	1	Interruptor y monitor de flujo	0-50 GPM, Ø 6”, con indicador de flujo calibrado para operar en 20 GPM.
25	1	Interruptor y monitor de flujo	0-6 GPM, Ø 6”, con indicador de flujo calibrado para operar en 3,5 GPM.
26	1	Termostato	
27	1	Intercambiador de calor	16,5 m^3/s flujo de aire, 1000 [rpm]

28	1	Motor eléctrico	15 HP, 1000 rpm, 400 V/3f/50 Hz, TEFC Frame 284 T
29	1	Manguera flexible	Ø 4”, con protección metálica
30	1	Manguera flexible	Ø 2”, de alta presión
31	1	Manguera flexible	Ø ¾”, de baja presión

Sistema de Lubricación Central

El sistema de lubricación central está compuesto por el circuito de lubricación propiamente tal y un circuito de enfriamiento independiente para el aceite lubricante.

El circuito de lubricación está formado por dos bombas, cada una con sus respectivos controles, quedando una reserva. La capacidad de una de ellas es suficiente para proporcionar la cantidad de lubricante a los distintos puntos del chancador:

- A excéntrica, engranajes y descanso esférico : 24 [gpm]
- A rodamientos eje piñón : 4 [gpm]

El aceite lubrica el exterior y el interior del buje excéntrico circulando a través de conductos para luego caer y lubricar el conjunto piñón y corona.

Los rodamientos del eje piñón se lubrican por baño de aceite, que llega a la caja soporte. En el extremo del acoplamiento, un sello impide la salida del aceite hacia el exterior.

El descanso esférico que soporta el poste recibe la lubricación a través del cilindro hidráulico de ajuste el cual es hueco.

Todo el aceite lubricante cae a la placa inferior, la que tiene un canal colector de forma circular y perforaciones para descarga gravitacional de este hacia el estanque.

El circuito de refrigeración es independiente del circuito anterior y mantiene la temperatura del aceite lubricante dentro de los rangos de trabajo. Está formado por una bomba, similar a las anteriores, un enfriador de aceite refrigerado por aire, un filtro y un sistema de control.

El estanque, común para el sistema de lubricación central, tiene un calefactor eléctrico de aceite para cuando las condiciones ambientales lo requieran. Cuenta también con un sistema de control e instrumentación.

Sistema de Lubricación Araña

Tabla 2.8: Componentes Sistema de Lubricación Araña.

ITEM	CANT.	NOMBRE	CARACTARISTICAS PRINCIPALES
1	1	Bomba de grasa	Capacidad 31 pulg3/min, ½ HP, 1450 rpm, 380 V/3f/50 Hz
2	1	Válvula dosificadora	4 módulos, con 1 pulg^3/ciclo
3	1	Controlador	Controlador multifuncional para control y monitoreo sistema de lubricación.
4	1	Manguera Flexible	¾”, alta presión.
5	1	Cintas calefactoras	1000 [W]

El manguito de la araña es lubricado por grasa.

El sistema de lubricación lo componen una bomba del tipo pistón para grasa: accionada neumáticamente por un conjunto motor eléctrico- bomba de engranaje.

La grasa es dosificada al buje de la araña por una válvula, a razón de 1 pulgada cubica por ciclo. Un manómetro permite controlar la presión de suministro de lubricante al equipo.

El lubricante este contenido en un tambor de 181 [kg] y la bomba tiene un adaptador para el montaje sobre él. El tambor de lubricante está provisto con cintas calefactoras. El sistema de lubricación opera en forma automática, controlado y monitoreado por un microprocesador el cual regula el ciclo de engrase.

El lubricante es proporcionado solo cuando el equipo está en marcha. El controlador permite accionar el sistema con funciones especiales, tales como el llenado de cañerías. También acciona una alarma si no se está impulsando de acuerdo al ciclo determinado.

2.4.1.9 Unidad Hidráulica Para el Posicionamiento del Poste.

Tiene por función la cantidad de aceite en el cilindro de ajuste para subir o bajar el poste del equipo, mediante una unidad de bombeo, un acumulador-amortiguador hidroneumático y un sistema de control e instrumentación, logrando así una determinada abertura de la cámara de chancado.

Tabla 2.9: Componentes Unidad Hidráulica para el Posicionamiento del Poste.

ITEM	CANT.	NOMBRE	CARACTARISTICAS PRINCIPALES
1	1	Estanque	Capacidad 568 Litros
2	2	Bomba de engranajes	4,75 gpm @ 1000 rpm y 1000 psi
3	2	Motor eléctrico	7,5 HP, 1000 rpm, 400 V/3f/50 Hz, TEFC, Frame 256 TC
4	1	Válvula de bola	Ø 1 ¼” , NPT
5	1	Válvula direccional	4 vias,2 posiciones, centro cerrado con solenoide 120 VAC
6	1	Válvula de control	4 vias,2 posiciones, actuada por solenoide centrada por resorte.
7	1	Válvula de alivio	50-1500 psi
8	2	Calefactor eléctrico	1,5 [kW] c/u, 400 V/3f/50 Hz
9	1	Filtro de retorno	25 micrómetros, ø 1 ½” NPT
10	2	Filtro de succión	60 mallas, ø 1 ¼” NPT
11	2	Manómetro	0-1500 psi, conexión ø ¼”
12	1	Termómetro	0-250°F
13	1	Válvula de retención	Ø ¾” NPT
14	2	Válvula de bola	Ø ¼” NPT
15	1	Termocupla	
16	1	Termostato	75-205°F
17	1	Interruptor de nivel de circuito	Conexión Ø 1/8” NPT
18	2	Indicador de nivel de aceite	10” de largo
19	1	Respiradero y llenado	10 micrones
20	2	Adaptador bomba	SAE B2x 256 TC Frame
21	2	Acoplamiento	
22	1	Acumulador hidroneumático	Gas de nitrógeno a 300 psi
23	1	Válvula de alivio	Ø 3”, 75-1000 psi
24	1	Manguera flexible	Ø 3”, con protección de metal

El sistema de ajuste hidráulico es una unidad independiente compuesta de un estanque, una bomba de engranajes, un acumulador con nitrógeno y aceite y un sistema de control.

El estanque cuenta con un conjunto de instrumentos tales como un interruptor de nivel, un indicador de nivel, termómetro, termostato y un calefactor de inmersión para cuando se requiera.

La bomba impulsa normalmente el aceite hacia el estanque a través de un tamiz de succión y de un filtro de descarga. Cuando es necesario subir el poste del chancador es activada la válvula de control 4/2 con accionamiento eléctrico, la que proporciona aceite al cilindro de levante. La válvula de retención impide la bajada. Cuando es necesario bajar el poste se acciona la válvula de alivio, comandada eléctricamente, para permitir la salida de aceite del sistema hacia el estanque.

El acumulador permite las sobrepresiones eventuales producidas durante la operación normal de chancado. El acumulador es un cuerpo cilíndrico de acero que tiene una cámara separadora sintética interior con una presión de precarga de nitrógeno de 21 [Kg/cm^3].

La válvula reguladora de presión ubicada delante del cilindro de ajuste protege al sistema hidráulico y al acumulador de sobrepresiones mayores, cuando trozos de hierro u otro material caen en la cámara de chancado. Su ajuste se determina en terreno, pues depende de material a chancar, el cual determina la presión normal de trabajo. Una vez ajustada, no debe ser modificada.

Consideraciones del sistema:

- La central hidráulica cuenta con un conjunto de válvulas que le permiten controlar la operación.
- Un ajuste excesivamente estrecho del chancador ocasiona un aumento anormal en la potencia consumida por el motor.
- Al intentar sacar un objeto no triturable desde el interior del chancador. No debe ubicarse sobre este el personal. Puede salir violentamente proyectado hacia arriba el objeto, ya que está sometido a extremas presiones. Se debe instalar malla de protección en acero, en la boca del chancador.
- El chancador debe operar 50[mm] por encima de su posición inferior mínima. Esta posición nunca debe ser menor.
- El sistema hidráulico debe ser purgado después de cada reparación.

2.4.1.10 Sistema Sellado de Polvo.

Este considera anillos de sello instalados en el fondo del cuerpo cónico del poste, los cuales sellan la entrada de polvo al interior del equipo a través de un buje especial montado sobre la excéntrica. En forma complementaria la cámara de sello se presuriza con aire suministrado por un soplador a una presión entre 0,5 y 1 [psi].

Tabla 2.10: Componentes del Sistema de sellado de Polvo.

ITEM	CANT.	NOMBRE	CARACTARISTICAS PRINCIPALES
1	1	Soplador	35 CFM, 3000 rpm, 2 [psi]
2	1	Motor eléctrico	1 HP, 3000 rpm, TEFC, 400 V/3f/50 Hz
3	1	Acoplamiento	Tipo flexible
4	1	Filtro de entrada con silenciador	
5	1	Base	

2.4.1.11 Carro Extracción Excéntrica.

El carro de extracción excéntrica; está fabricado en perfiles y vigas en acero calidad A42-27 ES.

Para su traslación y posicionamiento debajo del chancador está equipado con un carro de tracción eléctrica sobre vigas suspendidas fijadas a la losa.

2.4.1.12 Sistema Eléctrico.

El motor del chancador primario, esta alimentado en un nivel de tensión de 4,16 [KV] desde el Centro Control de motores, ubicado en la sala eléctrica de Chancado primario. El CCM-101, recibe energía en 4,16 [KV] desde la Sub-estación de 1,5 [MVA], 13,8/0,4 [KV], 50 Hz, ubicada en el patio de transformadores de Chancado Primario. La SEU-100, recibe la energía desde la SEU N° 652-5410-010 en un nivel de tensión de 13,8 [KV].

El partidor del motor del chancador, está compuesto por los siguientes elementos:

- Desconectador fusible, con fusible de 63[A], capacidad de ruptura 3R.
- Contactor para 400 [A].
- Unidad de protección Multilin 269.
- Unidad de medida Multilin MTM-Plus.

Descripción del Motor del Chancador

El motor del chancador primario, es del tipo Inducción Jaula de ardilla o asincrónico. El estator tiene un bobinado, el cual al recibir energía en 4,16 [kV] produce un campo magnético rotatorio a velocidad síncrona, es decir, 750 RPM.

El rotor del motor, gira a una velocidad levemente inferior (velocidad asíncrona) de 737 RPM. Dada esta diferencia de velocidades entre el estator y rotor se define un deslizamiento de 0,017.

Los principales datos del motor son los siguientes:

Tabla 2.11: Características generales del Motor Eléctrico. Los elementos RDT, son sensores de temperatura incorporados en el interior del bobinado estatórico. Se dispone de dos por fase. El tipo de RDT es: 100 Ohm a 0 °C

Tipo	Asincrónico, jaula ardilla.
N° de polos	8
Potencia	400 HP
Velocidad síncrona	750 rpm
Velocidad asíncrona	737 rpm
Tensión	4160 V
Frecuencia	50 Hz
Intensidad nominal	Pendiente
Factor de serv.	1,15
Frame	450-1120
Aislación estator	Clase F
Partida	Plena tensión
N° de serie	A10975
Temperatura ambiente	40 °C
Rotación	CW
Peso Total	5.500 [Kg]
Lubricación	Grasa
Accesorios	6 RDT estator 2 RDT descansos

3. CAPITULO III: TIPOS DE MANTENIMIENTO Y APLICACIONES

3.1 Que es el Mantenimiento

El mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. Conforme con la anterior definición se deducen distintas actividades:

- Prevenir y/o corregir averías.
- Cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones.
- Aspecto económico (costos).

En los años 70, en Gran Bretaña nació una nueva tecnología, la Terotecnología (del griego conservar, cuidar) cuyo ámbito es más amplio que la simple conservación:

"La Terotecnología es el conjunto de prácticas de Gestión, financieras y técnicas aplicadas a los activos físicos para reducir el "coste del ciclo de vida". El concepto anterior implica especificar una disponibilidad de los diferentes equipos para un tiempo igualmente especificado.

Todo ello lleva a la idea de que el mantenimiento empieza en el proyecto de la máquina. En efecto, para poder llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada es imprescindible empezar a actuar en la especificación técnica (normas, tolerancias, planos y demás documentación técnica a aportar por el suministrador) y seguir con su recepción, instalación y puesta en marcha; estas actividades cuando son realizadas con la participación del personal de mantenimiento deben servir para establecer y documentar el estado de referencia. A ese estado nos referimos durante la vida de la máquina cada vez que hagamos evaluaciones de su rendimiento, funcionalidades y demás prestaciones.

Son misiones de mantenimiento:

- la vigilancia permanente y/o periódica,
- las acciones preventivas,
- las acciones correctivas (reparaciones),
- el reemplazamiento de maquinaria.

Los objetivos implícitos son:

- Aumentar la disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso.
- Reducir los costos al mínimo compatible con el nivel de disponibilidad necesario.
- Mejorar la fiabilidad de máquinas e instalaciones.
- Asistencia al departamento de ingeniería en los nuevos proyectos para facilitar la mantenibilidad de las nuevas instalaciones.

3.2 Historia y evolución del Mantenimiento

El término "mantenimiento" se empezó a utilizar en la industria hacia 1950 en EE.UU. En Francia se fue imponiendo progresivamente el término "entretenimiento".

El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción (entretenimiento) hasta la concepción actual del Mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global:

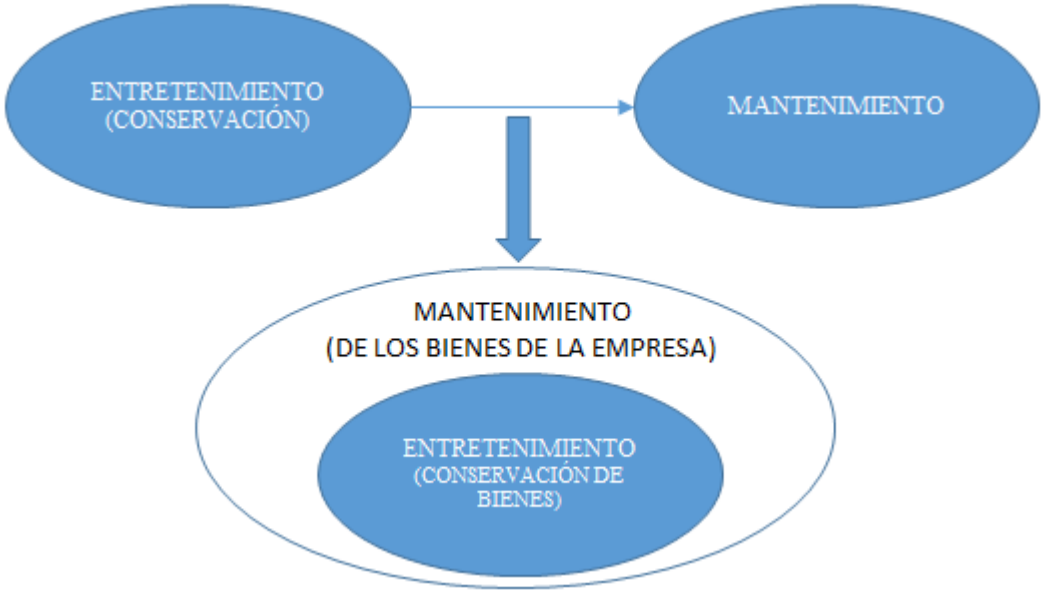


Figura 3.1: Esquema de inicio del mantenimiento. Fuente: (Tolentino, 2004)

Los servicios de mantenimiento, no obstante, lo anterior, ocupan posiciones muy variables dependientes de los tipos de industria:

- Posición fundamental en centrales nucleares e industrias aeronáuticas, posición importante en industrias de proceso.
- Posición secundaria en empresas con costos de paro bajos.

En cualquier caso, se pueden distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento:

- 1a Generación: La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la segunda Guerra Mundial, aunque todavía se utiliza en muchas industrias. El Mantenimiento se ocupa sólo en arreglar las averías. Es el Mantenimiento Correctivo.
- 2a Generación: Entre la segunda Guerra Mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se comienza a hacer sustituciones preventivas. Es el Mantenimiento Preventivo.
- 3a Generación: Surge a principios de los años 80. Se empieza a realizar estudios “Causa-Efecto” para averiguar el origen de los problemas. Es el Mantenimiento Predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a Producción en las tareas de detección de fallos.
- 4a Generación: Aparece a comienzos de los años 90. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total: "Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos. Es el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR): Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste.

Se requiere un cambio de mentalidad en las personas y se utilizan herramientas como:

- Ingeniería del Riesgo (Determinar consecuencias de faltos que son aceptables o no).
- Análisis de confiabilidad (Identificar tareas preventivas factibles y rentables).
- Mejora de la Mantenibilidad (Reducir tiempos y costes de mantenimiento).

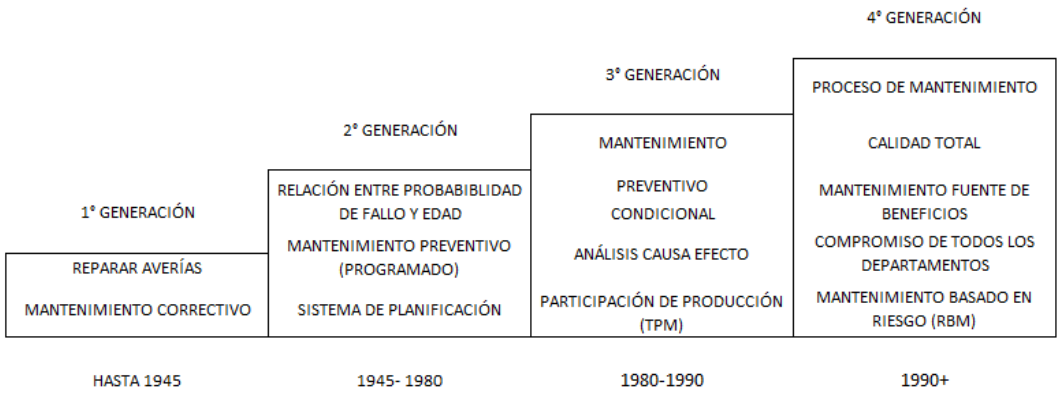


Figura 3.2: Evolución del mantenimiento. (Tolentino, 2004)

3.3 Origen del RCM

En 1960 el gobierno de los EE.UU. 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 Reability Centred Maintenance (Mantenimiento Centrado en la confiabilidad), 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 noventas a razón de dos accidentes graves con fatalidades por cada millón de despegues. En la década de los ochenta, la técnica RCM comenzó 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 los sectores de la minería y manufacturas, usaron una versión levemente modificada del diagrama de Nowlan y Heap, dando lugar a RCM2.

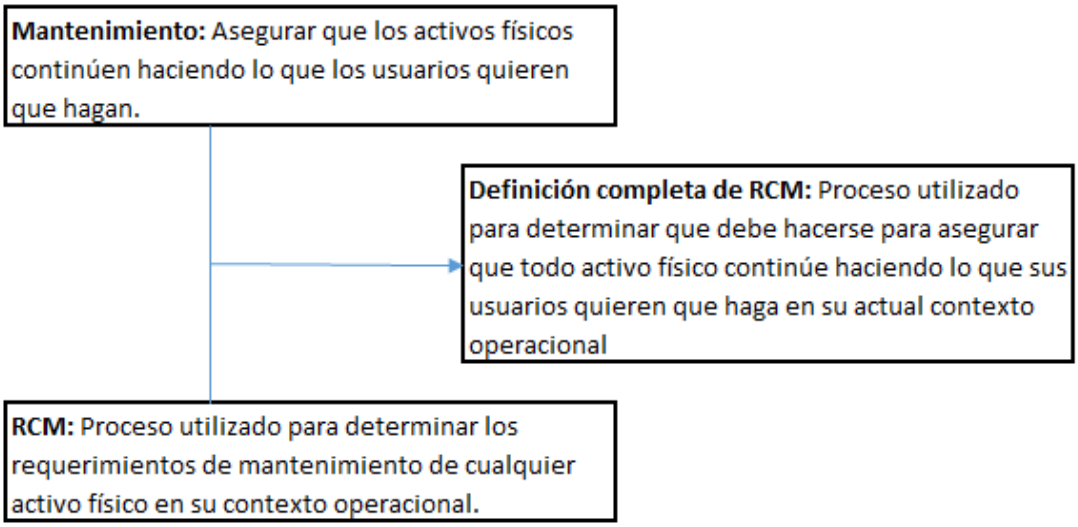


Figura 3.3: Definición de RCM.

3.4 Áreas de acción del Mantenimiento

Se deducen las tareas de las que un servicio de mantenimiento, según el contexto, puede ser responsable:

- Mantenimiento de equipos.
- Realización de mejoras técnicas.
- Colaboración en las nuevas instalaciones: especificación, recepción y puesta en marcha.
- Recuperación y nacionalización de repuestos.
- Ayudas a fabricación (cambios de formato, proceso, etc.).
- Aprovisionamiento de útiles y herramientas, repuestos y servicios (subcontratación).
- Participar y Promover la mejora continua y la formación del personal. - Mantener la Seguridad de las instalaciones a un nivel de riesgo aceptable. - Mantenimientos generales (Jardinería, limpiezas, vehículos, etc.).

Parar lograrlo se debe plantear lo siguiente:

- La Política de Mantenimiento a aplicar
    - Tipo de mantenimiento a efectuar.

- Nivel de preventivo a aplicar.

- Los Recursos Humanos necesarios y su estructuración
- El Nivel de Subcontratación y tipos de trabajos a subcontratar.
- La Política de stocks de repuestos a aplicar.

3.5 Tipos de Mantenimiento

Existen diferentes nombres que suelen utilizarse para denominar los tipos de mantenimiento. En este punto se describirá brevemente cada uno de ellos. En algunas circunstancias resulta difícil establecer el límite entre cada uno dado que, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma, solo que parten de perspectivas diferentes.

Los tipos de mantenimiento pueden ser separados en dos grandes. Por un lado, se encuentran las tareas que involucran acciones Reactivas (Correctivas); por otro lado, se encuentran las que se caracterizan por acciones del tipo Pro-activas.

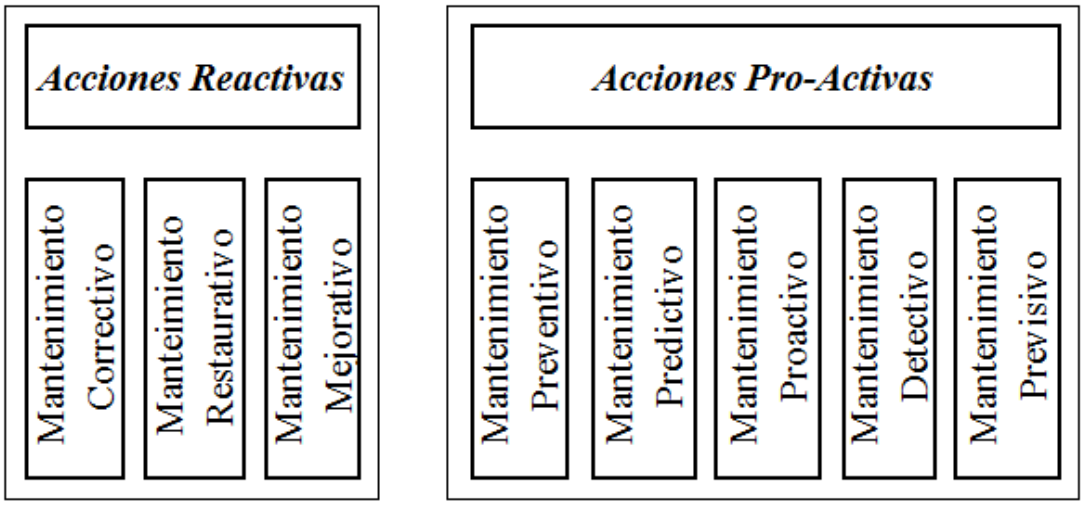


Figura 3.4: Acciones reactivas y pro-activas. Fuente: (Pistarelli, 2010)

Acciones Reactivas

Una acción reactiva considera tomar alguna medida para restablecer las funciones originales que se perdieron como consecuencia de un evento inesperado (falla funcional). Cuando se trata de una emergencia, la programación casi no existe o, sencillamente, es improvisada.

Acciones Pro- Activas

Los Planes de Mantenimiento están constituidos por acciones del tipo Pro-activas. Tienen como objetivo impedir que se manifiesten modos de falla, que no ocurran a menudo o minimizar sus consecuencias. Las áreas de mantenimiento manejan modos de falla durante acciones Reactivas como Proactivas. Sin lugar a dudas, gestionar un evento (modo de falla) antes de que suceda, significa llevar adelante acciones Pro-activas.

3.5.1 Mantenimiento Correctivo (Una acción Reactiva No Programada)

Consiste en la reparación de averías o fallos funcionales a medida que se van reduciendo. El personal encargado de identificar los defectos generalmente es el operador de la máquina, y es quien avisa al personal especializado para que realice la reparación. En otras oportunidades, el propio operador de la máquina repara alguna de las fallas. (Pistarelli, 2010)

3.5.2 Mantenimiento Restaurativo (Una Acción Reactiva Programada)

Como consecuencia de las rutinas de mantenimiento Pro-activas, puede detectarse que ciertos parámetros están fuera del estado óptimo de funcionamiento aun sin haberse producido todavía la falla funcional. Este estado insatisfactorio puede requerir la intervención de personal especializado para restaurar la funcionalidad del componente. Teniendo un adecuado sistema de programación, permite programar las tareas con cierta anticipación. También se lo conoce como mantenimiento restauración programada (MRP).

3.5.3 Mantenimiento Mejorativo (Una Acción Reactiva Programada)

Se conoce como Rediseño y busca optimizar el proceso productivo, eliminar fallos crónicos, o bien aumentar la confiabilidad o mantenibilidad de los activos modificándolos de alguna manera. Los rediseños pueden ser de índole física u operativa. Los primeros involucran modificaciones sobre el activo, mientras que los Rediseños Operativos pretenden mejorar los procedimientos de operación, los procedimientos de mantenimiento e inclusive el grado de capacitación de las personas.

3.5.4 Mantenimiento Preventivo

Se pretende disminuir la frecuencia de las paradas no programadas aprovechando el momento más oportuno, tanto para la Producción como para Mantenimiento. Permite, además, preparar herramientas, repuestos e insumos y seleccionar al personal más capacitado.

Como parte del mantenimiento preventivo se encuentran los servicios de inspección cíclicos, conservación y restauración de un ítem para prevenir, detectar o corregir defectos.

Se realiza a espacios de tiempos, horas, ciclos, etc. regulares bien definidos y sin importar el estado del ítem a mantener. Normalmente con el equipo o instalación fuera de servicio y sustituyendo o reparando cíclicamente los componentes. En algunos equipos es necesario justificar cierta rentabilidad económica para su aplicación.

3.5.5 Mantenimiento Predictivo

Propone que es posible detectar síntomas prematuros de desperfectos o desajustes, algún tiempo antes de que se produzca una detención no deseada. Se presume que ciertos componentes “avisan” antes de llegar a la falla funcional.

A partir de la detección de la falla incipiente, es posible estimar el tiempo de la vida hasta la falla operacional, y, en consecuencia, contar con el tiempo suficiente para programar su reemplazo o reparación. Para equipos prioritarios, se realizan estimaciones por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de estas piezas y determinar la frecuencia exacta de inspección.

Normalmente se realiza con el equipo o instalación en servicio. Algunas herramientas utilizadas por el mantenimiento predictivo son:

- Análisis de vibraciones (permanentes o periódicas)
- Termografía infrarroja
- Análisis de partículas de desgaste.
- Análisis de amperaje.
- Inspección por ultrasonido.
- Emisión acústica.

- Verificación de metales y aleaciones, etc.

3.5.6 Mantenimiento Proactivo

Consiste en monitorear las propiedades de ciertos parámetros en los componentes antes de decidir una intervención. Sin embargo, en este caso y a diferencia del predictivo, se pretende determinar la causa raíz que puede provocar una falla sintomática con el fin de desviar una tendencia indeseable.

Una de las técnicas más usadas es la tribología, que permite monitorear ciertas propiedades de los lubricantes para evitar el desgaste de la máquina y aumentar su vida útil. Identificar síntomas adversos, brinda la oportunidad de tomar acciones restaurativas para desviar tendencias y mejorar las condiciones de operación sin llegar a la falla sintomática irreversible.

Algunos ejemplos de mantenimiento proactivo:

- Monitoreo de contaminantes de un lubricante.
- Conteo de partículas.
- Alineación y balanceo.
- Monitoreo de viscosidad y acidez de lubricantes.

3.5.7 Mantenimiento Detectivo

Son las acciones tendientes a poner de manifiesto fallos ocultos que se dan básicamente en dispositivos redundantes o de protección. Identificar un fallo oculto y eliminarlo, aumenta la disponibilidad del dispositivo de seguridad. De no tomarse ninguna acción ante este tipo de fallos, y de suceder una falla funcional de la función cargada a proteger, se estaría ante una falla simultánea.

3.5.8 Mantenimiento Previsivo

Este tipo de acciones tratan de minimizar la ocurrencia de futuros fallos durante la etapa de diseño. A través de aplicaciones tecnológicas se utilizan técnicas de simulación para representar posibles fallos de la instalación. Estas herramientas posibilitan planear alternativas de solución y realizar las modificaciones o ajustes convenientes disminuyendo la probabilidad de falla del conjunto.

4. CAPITULO IV: MARCO CONCENTUAL

4.1 Análisis de Criticidad

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

4.1.1 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad.

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

En uno de sus ejes, la matriz representa la frecuencia de fallas y en el otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si ocurre una falla.

Nivel Frecuencia						
	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
	Nivel Consecuencias	1	2	3	4	5

Niveles de Criticidad

B	Criticidad Baja
M	Criticidad Media
A	Criticidad Alta

Figura 4.1: Matriz de Criticidad. La matriz tiene un código de colores que permiten identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad del equipo o sistema.

4.1.2 Elementos para determinar criticidad

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

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

4.1.3 Pasos del análisis de criticidad

4.1.3.1 Primer paso

Se definen los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, según las necesidades o requerimientos para jerarquizar los activos.

4.1.3.2 Segundo paso

La estimación de la frecuencia de falla y el impacto o consecuencia de la falla se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos. La siguiente tabla muestra los criterios para estimar a frecuencia:

Tabla 4.1: Criterios para estimar la frecuencia.

Categoría	Número de fallas por año	Interpretación
5	$\lambda > 52$	Es probable que ocurra más de una falla por semana. Más de 52 fallas al año.
4	$12 < \lambda \leq 52$	Es probable que ocurra a lo menos una falla al mes. Entre 12 y 52 fallas por año.
3	$2 \leq \lambda \leq 12$	Es probable que ocurra más de una falla al semestre. Entre 2 y 12 fallas por año.
2	$0,1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurra una falla cada 10 años. Entre 1/10 a 1 falla por año.
1	$\lambda \leq 0.1$	La probabilidad de falla es menor a una cada 10 años.

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los criterios establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Categorías de Impacto.

Categoría	Daños al personal	Impacto ambiental	Impacto en la producción (por falla)	Costo de reparación (USD)	Tiempo Promedio para reparar
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	La impacta totalmente.	Mayor de 40k US$	Más de 24 horas
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Daños irreversibles al ambiente pero que no violan regulaciones y leyes ambientales.	75% de Impacto.	De 20k a 40k US$	Entre 17 y 24 horas

3	Daños o enfermedades severas en varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acumulada.	50% de Impacto.	De 10k a 20k US$	Entre 9 y 16 horas
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	25% de Impacto.	De 2k a 10k US$	Entre 4 y 8 horas
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	No afecta la producción.	Menos de 2k US$	Menos de 3 horas

4.1.3.3 Tercer paso

Cálculo del nivel de criticidad: Para determinar el nivel de criticidad de un equipo o sistema se debe multiplicar la frecuencia por la consecuencia.

Para las variables se utilizan los valores preestablecidos como “Niveles” de las tablas Categorías de las frecuencias de Ocurrencia y Categoría de Impacto respectivamente.

4.1.3.4 Cuarto paso

Análisis y Validación de los resultados: Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional.

4.1.3.5 Quinto paso

Definir el nivel de análisis: El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite “jerarquizar” los problemas, componentes, equipos, etc. Basados en la criticidad.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los componentes críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las tareas que más lo necesiten y con esto analizar de manera más detalladas en el análisis RCM solo los componentes más críticos.

4.2 Análisis Funcional

El Análisis Funcional, es una técnica del RCM, que permite una fácil visualización de los sistemas en estudio, permitiendo nivelar el conocimiento del

mismo entre todo el grupo de análisis. Permite Identificar las funciones con sus estándares de desempeño:

- Cantidad y calidad de producción en rangos de operación.
- Estándares de operación como temperaturas, presiones, etc. Especificados como rangos de operación.

4.2.1 Diagrama Entrada Proceso Salida

Su naturaleza gráfica y esquema de caja negra permiten una fácil visualización del sistema de estudio y una concentración en el mismo, una buena construcción del mismo permite un buen comienzo del análisis.

DIAGRAMA EPS (ENTRADAS, PROCESO, SALIDA) DEL EQUIPO CHANCADOR FULLER TRAYLOR 42" x 66"			
Entrada	**Proceso** Chancado de mineral, tamaños de entada aproximados a 40" reducidos a tamaños de salida 4 1/2"		**Salida**
	Sub Procesos	**Componentes del sistema**	
1 Mineral	1 Chancado de mineral	Eje principal	***1 Mineral con una granulometria igual o menor a 4 1/2"***
2 Agua	2 Dar giro Excentrico	Excentrica	***2 Aceite caliente***
3 Quimicos	3 Nivel de altura del poste	Hydroset	***3 Elementos no procesables***
4 Lubricantes	4 Transmitir potencia y torque	Eje Piñon	***4 Polvo***
5 Combustible	5 Dar Torque al chancador	Motor	***5 Aceite contaminado***
6 Energía	6 Mantener temperatura	Sist. Lubricación	***6 Calor***
7 Aire comprimido	7 Fijación del equipo	Carcasas Superior e inferior	***7 Vibraciones***
8 Grasa	8 Suprimir el polvo	Supresores de polvo	***8 Ruido***
9 Elementos no procesables			

Figura 4.2: Diagrama EPS (Entrada, Proceso y Salida) del Chancador Fuller Traylor 42" x 66".

4.2.2 Diagrama Funcional de bloques

El diagrama de bloques es la representación gráfica del funcionamiento interno de un sistema, que se hace mediante bloques y sus relaciones, y que, además, definen la organización de todo el proceso interno, sus entradas y sus salidas. En los bloques se representan las partes del sistema sin entrar en detalles.

La figura 4.3 muestra el diagrama de bloques para el chancador. Se puede observar los principales sistemas con que cuenta el equipo, sus funciones y su interacción con el medio. Este diagrama tiene la utilidad de que cualquier flecha que se vea interrumpida implica una falla en el equipo.

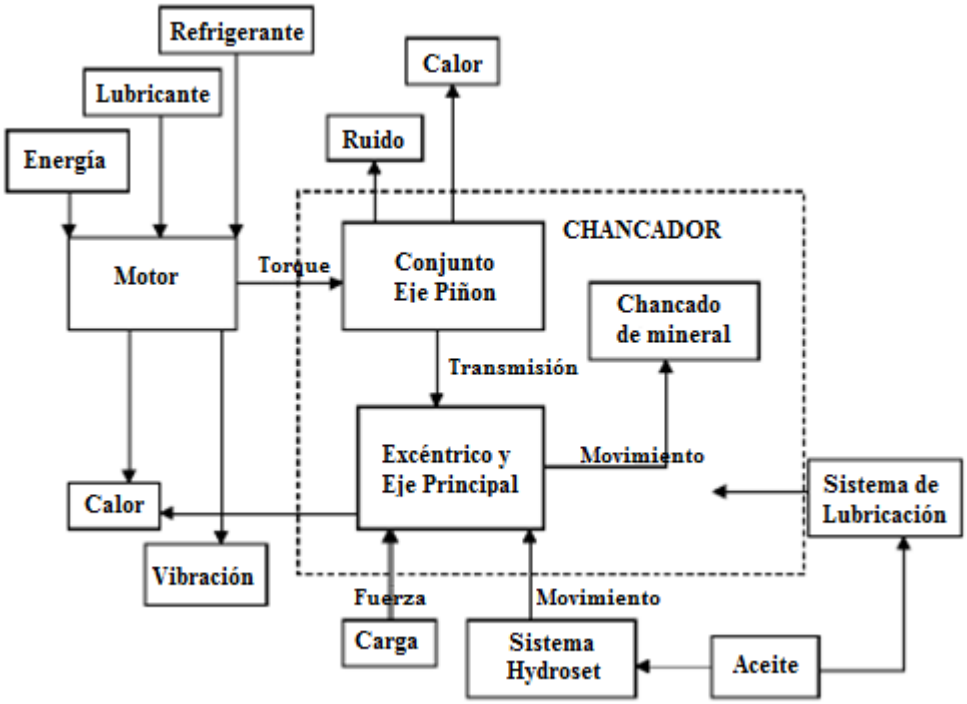


Figura 4.3: Diagrama Funcional de Bloques de Chancador. (D., 2003)

Este diagrama tiene la finalidad de explicar gráficamente el comportamiento del funcionamiento del chancador y que sucedería si uno de estos componentes falla.

Por ejemplo, al fallar el sistema de lubricación, este afecta al chancador ya que deja de bombear aceite al cilindro del Sistema Hydroset, además afecta el casco inferior (excéntrica-piñón-buje y engranaje impulsor), pistón, y buje de la excéntrica ya que funciona con un circuito divisorio del flujo de aceite.

Otro ejemplo a analizar es la falla del motor, cuando esto sucede el motor deja de entregar el torque al excéntrico y eje principal, lo que implica la detención del chancador y con ello deja de cumplir su función principal que es el chancado de mineral.

4.3 Análisis del Árbol de Fallas

Un método bastante difundido para el análisis de confiabilidad de sistemas complejos es el denominado árbol de fallas. El Análisis del Árbol de Fallas (en inglés: Fault tree analysis, FTA), es un análisis de falla deductivo descendente o esquema lógico secuencial, en el que un estado no deseado de un sistema es analizado utilizando la lógica Booleana para conjugar una serie de eventos de bajo nivel. Este método de análisis es principalmente utilizado en los campos de ingeniería de confiabilidad, para comprender cómo los sistemas pueden fallar, para identificar las mejores formas de reducir un riesgo o para determinar (o comenzar a comprender) tasas de eventos de un accidente de seguridad o una falla (funcional) de un nivel en particular de un sistema.

Cualquier sistema suficientemente complejo está sujeto a fallas, a causa del fallo de uno o más sus subsistemas. La probabilidad de falla, sin embargo, a menudo puede ser reducida a través del diseño mejorado del sistema. El análisis de árboles de fallas mapea la relación entre las fallas, los subsistemas, y los elementos redundantes del diseño de seguridad, creando un esquema lógico del sistema global.

La representación de árbol jerarquizado de los distintos acontecimientos se puede lograr utilizando la simbología siguiente (selección de elementos comúnmente utilizados):

Símbolo	Nombre	Descripción
	Circulo	Acontecimiento primario generalmente denominada efecto básico.
	Rectángulo	Acontecimiento secundario, resulta de la combinación lógica de otros acontecimientos.
	Diamante	Acontecimiento primario, cuyas causas son desconocidas o no hay interés en desarrollar.
	Triangulo-IN	Cadena de acontecimientos analizada.
	Gate or	Operación lógica que da señal de salida con al menos un acontecimiento de entrada.
	Gate and	Operación lógica que da señal de salida al ocurrir todos los acontecimientos de entrada.
3,2,1 1 2 3	*Priority and gate-*	Indica que el acontecimiento de salida ocurre solamente si las entradas acontecen en la secuencia descrita.

Tabla 4.3: Simbología de análisis de Árbol de fallas. (Arata, 2006)

4.3.1 Pasos del Análisis de árbol de fallas

4.3.1.1 Definir el evento superior

Para definir el evento superior, se tiene que identificar el tipo de falla que se va a investigar. En este caso el evento superior es el no funcionamiento del chancador. Se debe determinar todos los eventos no deseados en la operación de un sistema. Luego separar esta lista en grupos con características comunes. Probablemente sea necesario varios FTA para estudiar completamente el sistema.

4.3.1.2 Conocer el sistema

Se debe estudiar toda la información disponible sobre el sistema y su ambiente. Puede ser de ayuda un análisis de trabajo para determinar la información necesaria.

4.3.1.3 Construir el árbol

I. Utilizar información técnica.

II. Detallar cada elemento analizado con puertas adicionales a niveles más bajos.

III. El árbol tiene que construirse al usar los símbolos de eventos nombrados arriba. Debe de mantenerse sencillo, conservar un formato lógico y consistente de nivel a nivel.

IV. Las puertas de lógica deben limitarse a “Gate and” y “Gate or” y se debe usar símbolos de restricción solamente cuando sea necesario.

V. El triángulo de transferencia debe usarse muy poco o nunca. Mientras más se usa el triángulo de transferencia, más complicado se pone el árbol. El propósito del árbol es mantener el procedimiento tan sencillo como sea posible. (Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas, 2000)

4.3.1.4 Validar el árbol

Se requiere a una persona que sepa mucho del proceso para verificar que el árbol esté completo y exacto.

4.3.1.5 Evaluar el árbol

Se requiere examinar el árbol de fallas para reconocer las áreas donde pueden hacerse mejoras en el análisis o donde tal vez haya oportunidad de utilizar procedimientos o materiales alternativos para disminuir el peligro.

4.3.1.6 Considerar cambios constructivos

En este paso, cualquier método alternativo que se implementen deben evaluarse más. Esto permite que los asesores vean cualquier problema que esté relacionado con el nuevo procedimiento antes de implementarlo.

4.3.1.7 Considerar alternativas y recomendar medida de corrección

Este es el último paso en el proceso donde se recomiendan acciones correctivas o medidas alternativas.

4.3.2 Árbol de fallas del Chancador

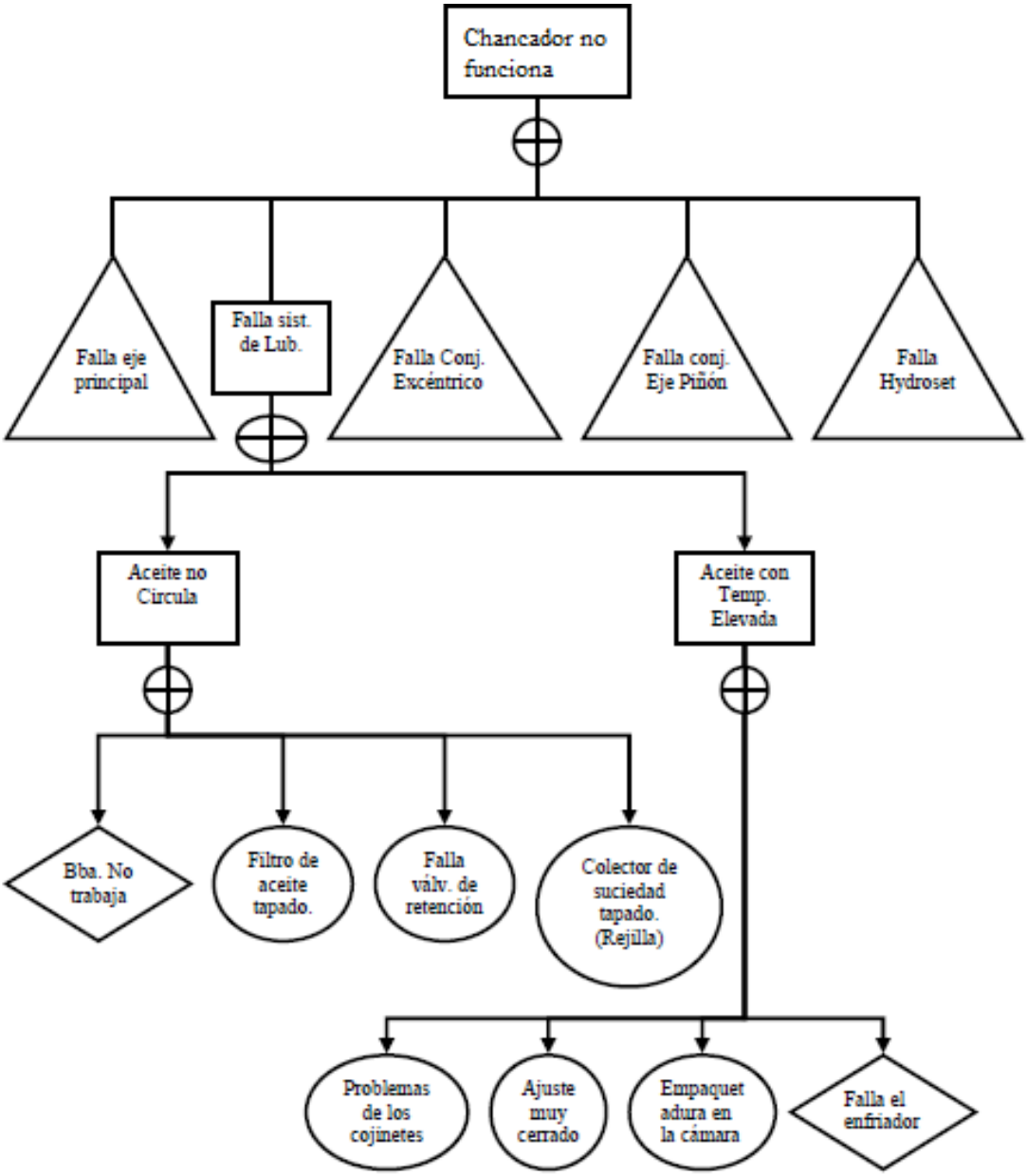


Figura 4.4: Árbol de fallas de Chancador. (Opazo, 2006)

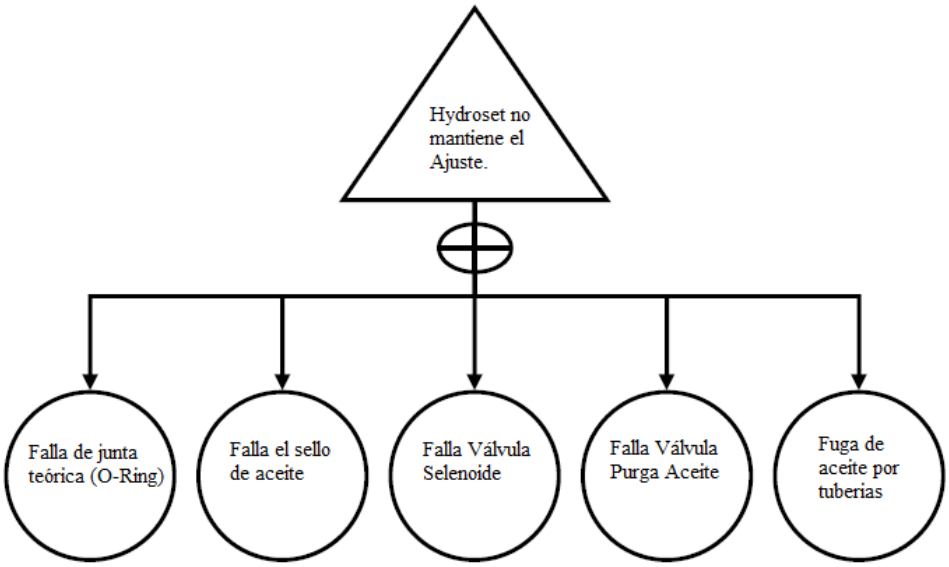


Figura 4.5:Continuación árbol de fallas.

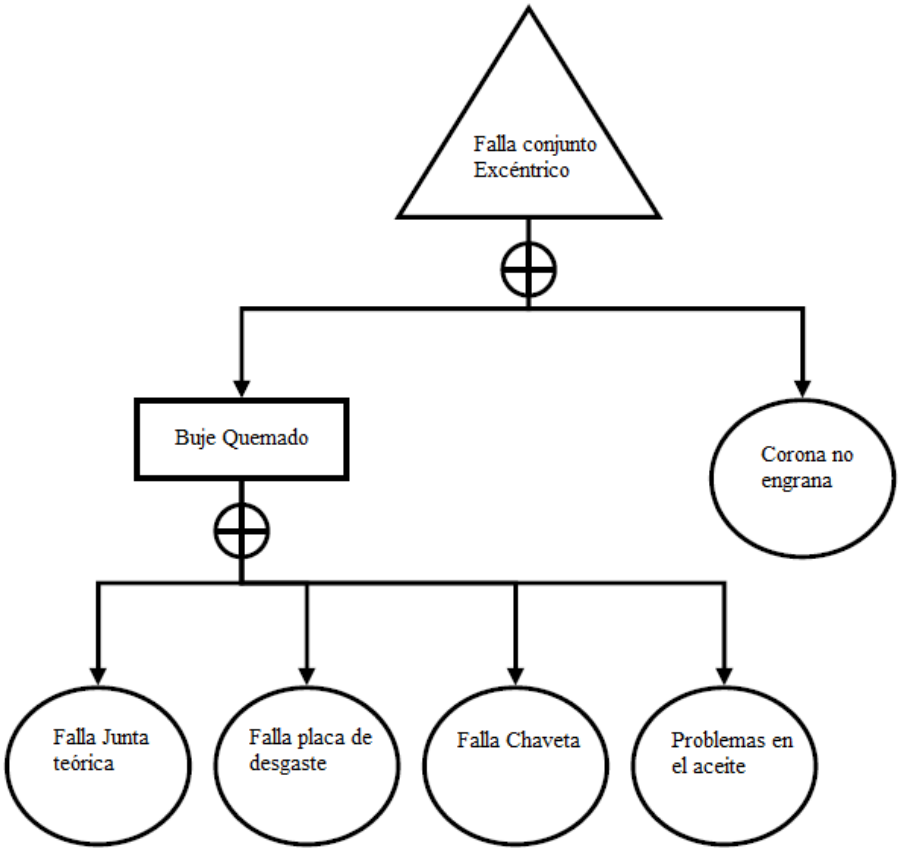


Figura 4.6: Continuación árbol de fallas. (Opazo, 2006)

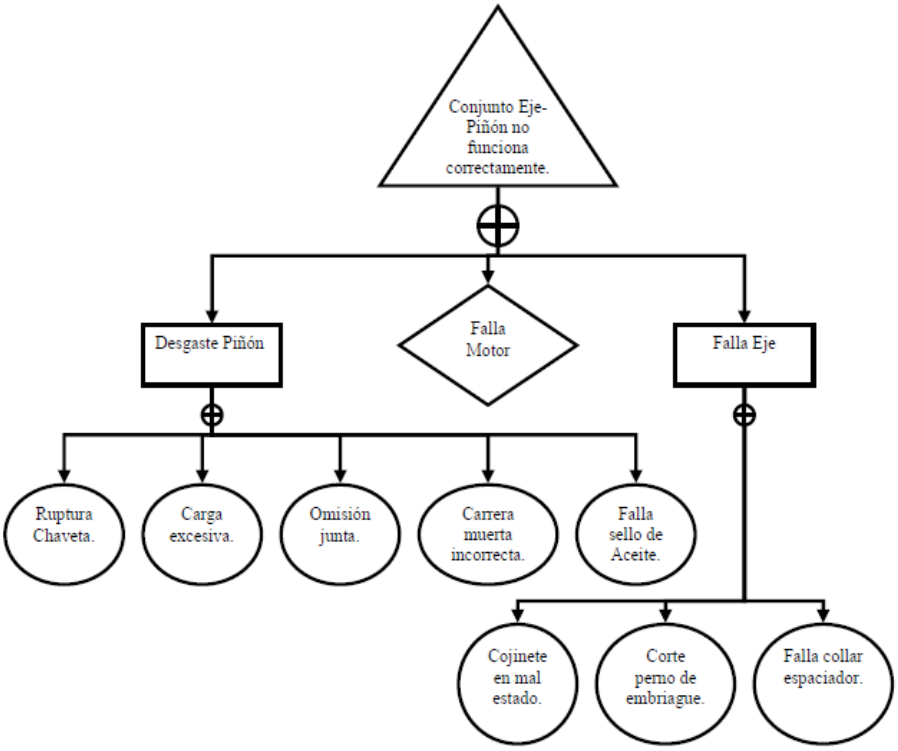


Figura 4.7: Continuación árbol de fallas.

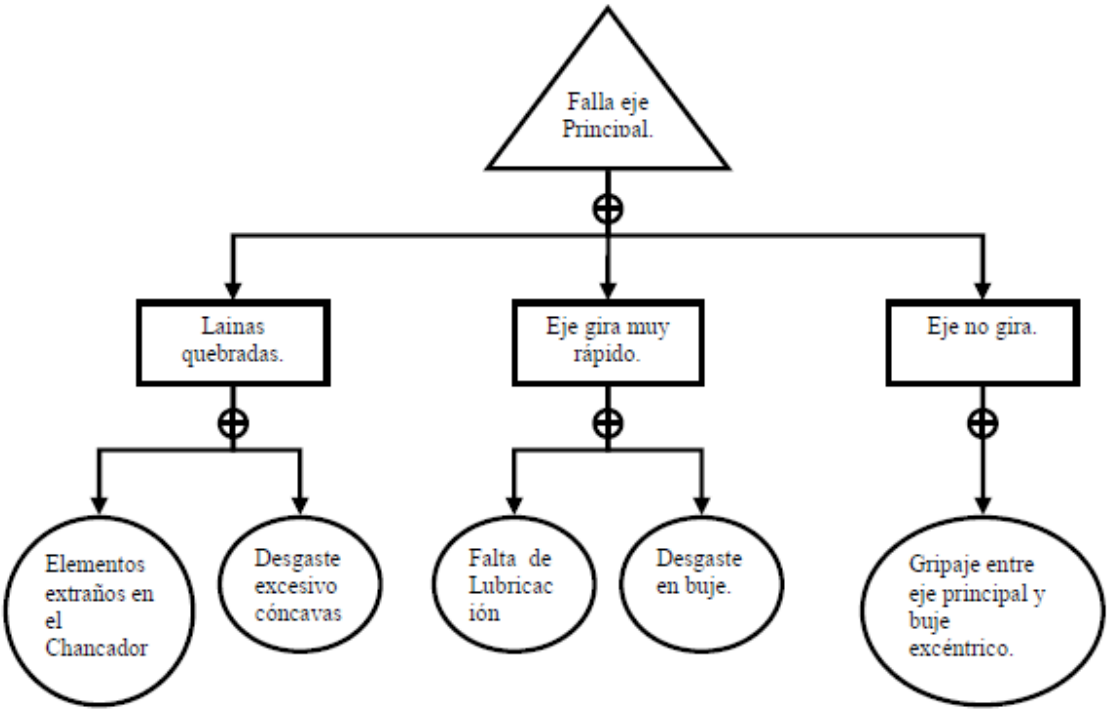


Figura 4.8: Continuación árbol de fallas. (Opazo, 2006)

4.4 EL FMECA

El FMECA es una metodología que permite clasificar y recopilar información de los componentes críticos, y con ello proyectar y diseñar las estrategias de mantención para un equipo o sistema.

Este análisis se divide en 4 fases:

- Fase 1. Selección de la máquina crítica.
- Fase 2. Descomposición de la máquina.
- Fase 3. Individualización del modo de falla y evaluación de la criticidad de los elementos.
- Fase 4. Análisis de las causas de fallas e individualización de los componentes críticos.

El equipo de trabajo responsable de llevar a cabo la metodología debe ser un equipo multidisciplinario formado principalmente por operadores, mantenedores y profesionales de ingeniería de mantención que actúan como facilitadores del proceso de análisis.

El responsable de la unidad productiva con el apoyo de mantención define y localiza los equipos que afectan mayormente la productividad de los medios de trabajo y/o la calidad del producto o servicio, a través de la *selección de la maquina critica (Fase 1).*

La *descomposición de la maquina (Fase 2)* se desarrolla estudiando cada una de las partes o piezas que se obtienen como resultado de la disgregación por partes o subsistemas de la máquina. Este análisis se realiza considerando los siguientes niveles de descomposición.

- Nivel I. Es ocupado por la máquina, estación u operación tomada en consideración.
- Nivel II. Fase del proceso o conjunto/grupo funcional de la máquina.
- Nivel III. Subsistemas de componentes que desarrollan las operaciones elementales concurrentes en la ejecución del nivel II.

- Nivel IV. Componentes significativos críticos, en los que tiene origen la falla que se transmite a niveles superiores de la máquina. Se obtiene normalmente después de la Fase 4.

Para el desarrollo de la fase 2 se utiliza la “Plantilla de Descomposición de la maquina” (Tabla 4.4).

Las actividades del grupo de trabajo (equipo multidisciplinario) en la Fase 3 y Fase 4 están reglamentadas en la “Planilla FMECA del medio de trabajo” que entrega una modalidad operativa para individualizar cualitativamente y cuantitativamente los componentes críticos. Esta fase colabora en la capacitación del equipo de operadores y mantenedores.

Tabla 4.4: Plantilla Descomposición de la máquina.

EMPRESA DEPARTAMENTO EQUIPO OPERACIÓN							
Código	Nivel I	Código	Nivel II	Código	Nivel III	Código	Nivel IV

La Individualización del modo de falla y evaluación de la criticidad de los elementos (Fase 3) comprende el análisis de la criticidad de la falla, es decir, en la “Planilla FMECA del medio de trabajo” comprende desde la columna “Número de elementos” hasta la columna “Índice de criticidad”.

4.4.1 Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos.

Es importante estipular claramente cuáles son los modos de falla existentes en el sistema, por ello en la siguiente plantilla se crea un listado, que junto con los modos de falla contiene información que da a conocer la relevancia de cada una de las fallas.

Tabla 4.5: Plantilla FMECA del medio trabajo

Subsistema			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	Número de elementos	Tipo de falla subconjunto	Frecuencia (veces/año)	Efecto sobre la maquina	Efecto sobre el producto	Reparación provisoria	Tiempo de detención (horas)	Indisponibilidad (horas/año)

4.4.2 Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico.

La plantilla de la tabla 4.6, permite establecer la relación entre la causa de falla y componente que lo origina.

Tabla 4.6:Plantilla FMECA del medio de trabajo

Subsistema			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	Criticidad del proceso	Índice de criticidad	Tipo de falla componente	Causa de falla componente	Síntomas observables	Síntomas externos

La construcción de las tablas 4.5 y 4.6 son de gran importancia. En la primera de ellas se establece los síntomas que evidencia cada uno de los componentes, es decir, la señal que genera el componente cuando no opera correctamente. En la segunda planilla se determina cual es la causa que produce los síntomas particulares.

Al observar un síntoma es fundamental conocer cuál es la causa que lo produce, ya que de esta forma se puede resolver el problema en su origen.

En las tablas 4.7 y 4.8 se muestra la aclaración de los elementos que deben incorporar en cada una de las columnas de las dos plantillas antes expuestas.

Tabla 4.7: Plantilla A: individualización de los modos de falla, cuantificación de la criticidad y sus efectos.

Columna	**Detalle**
Número de elementos	¿Cuál es la multiplicidad del sistema? indicar cuantos subconjuntos existen en el subsistema bajo análisis.
Tipo de falla de subconjunto	¿Ha fallado alguna vez el subconjunto? ¿Qué tipo de falla se ha verificado? indicar tipo de falla total o parcial.
Frecuencia (veces/año)	¿Con qué frecuencia se ha verificado la falla? Especificar el número de fallas ocurridas durante un año
Efecto sobre la máquina	Especificar si al ocurrir la falla , la máquina se bloquea en forma parcial o total.
Efecto sobre el servicio	¿Cuáles son los efectos sobre el producto/servicio? Indicar si el tipo de falla provoca degradación cualitativa sobre el producto/servicio.
Reparación provisoria	¿Existe la posibilidad de una reparación provisoria? Indicar si existe una reparación provisoria previa a la reparación definitiva.
Tiempo de detención (horas)	¿Cuánto tiempo está detenida la máquina al ocurrir la falla?
Indisponibilidad (horas/años)	¿Cuál es la indisponibilidad de la máquina? Calcular la indisponibilidad de la máquina como la multiplicación entre la frecuencia de falla y el tiempo de detención.

Tabla 4.8: Plantilla B: Análisis de causas de falla e individualización del componente crítico.

Columna	**Detalle**
Criticidad del proceso	Criticidad en servicio. Ajustar valor de criticidad de acuerdo a la tabla de valores de criticidad.
Índice de criticidad	Se obtiene multiplicando el valor de la criticidad por la indisponibilidad de la máquina.
Tipo de falla del componente	Descripción del tipo de falla a la que está sujeto el componente
Causa de falla del componente	Se indica cuál es la causa que produce la falla en el componente
Síntomas observables	Síntomas inherentes a la falla Se reporta en esta columna la “señal débil” observable directa o indirectamente de los primeros síntomas que surgen de la falla.
Síntomas externos	Se reportan las señales o síntomas externos a la falla

En forma complementaria en la tabla 4.9 se presenta una tabla donde se sugiere los valores del índice criticidad para procesos de distintas características.

Tabla 4.9: Tabla de valores de criticidad.

Índice	**TABLA DE VALORES DE CRITICIDAD (Sugerencias)**
1	Ninguna criticidad cualitativa. El tipo de falla no influye sobre la calidad del producto/servicio
2	Marginalmente crítica. Calidad aceptable al límite de lo estándar.
3	Poco crítica. Calidad no aceptable
4	Crítica
5	Muy crítica, Calidad no aceptable, riesgo de enviar al cliente el producto fuera de estándar. Peligro para el personal.

4.5 RCM

4.5.1 Introducción

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemático y objetivo, que puede ser aplicado a cualquier tipo de industria, tales como; grandes empresas petroquímicas, compañías mineras, empresas de generación eléctrica, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

El RCM analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son estudiados y clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, medio ambiente, operación y costo.

La idea principal del RCM es que los planes de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos en su actual contexto operacional, más que los equipos mismos. Desde un punto de vista productivo lo más importante es que el equipo realice su función, esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si estuvieran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. Además, es importante conocer las condiciones en que se realiza esta función y, sobre todo, las condiciones que pueden llegar a interrumpir o dificultar esta función. La figura 4.9 muestra los pasos a seguir para poder realizar un análisis RCM.

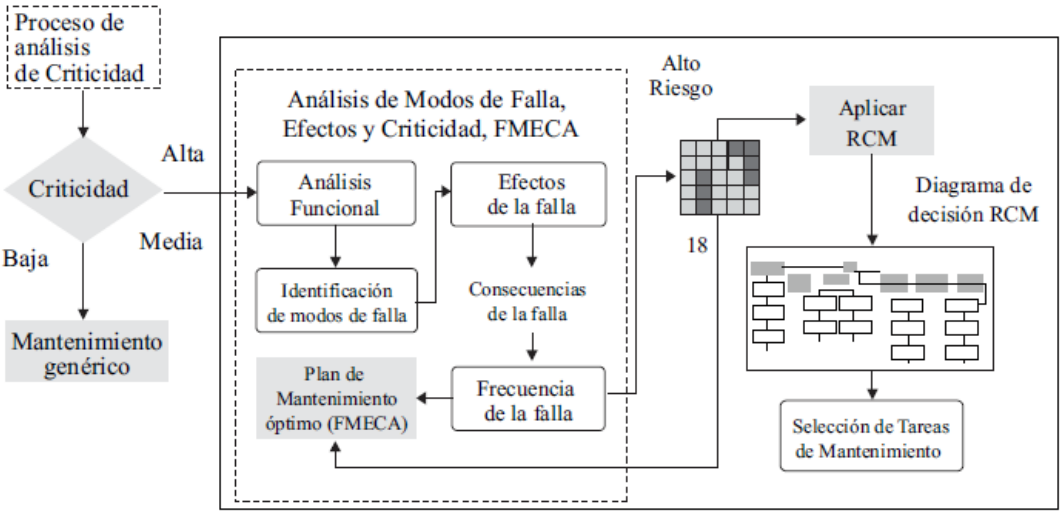


Figura 4.9: Diagrama de proceso RCM. (Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jiménez, 2010)

4.5.2 Definición de RCM

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

4.5.3 El contexto operacional

Lo primero que se debe analizar, antes que las funciones del equipo, es el contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Por ejemplo, una bomba centrifuga operando a nivel del mar, no tendrá el mismo plan de mantenimiento que una operando a 4.000 m.s.n.m. Por lo tanto, antes de comenzar el análisis se debe planear el contexto operacional, este debe ser breve y preciso, en el cual se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo, los objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

4.5.4 Funciones

Una vez planteado el contexto operacional, se comienza con la redacción de las funciones deseadas. En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas. Para definir los objetivos del mantenimiento según los requerimientos de los usuarios se debe obtener un claro entendimiento de las funciones de cada activo físico junto con los parámetros de funcionamiento asociados. Es por esta razón que el proceso RCM comienza preguntando:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo físico en su contexto operacional actual? (Moubray, 2000)

Las definiciones de funciones deben consistir de un verbo y de un objeto. El inicio de la definición debe ser con un verbo en infinitivo ("Soldar plancha", "Transportar material", etc.).

Sin embargo, los usuarios no esperan solo que el activo cumpla con la función. También se espera que lo haga con un nivel aceptable de funcionamiento deseado por el usuario. Por ejemplo, la una función podría enunciarse así:

- Transportar mineral desde chancado grueso a Stockpile de almacenamiento a 2 [m/s].

Este ejemplo muestra que una definición completa de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

4.5.5 Fallas funcionales o estados de falla

Un activo falla cuando no hace lo que el usuario desea que haga. Una falla funcional puede ser una pérdida total o parcial de la función. Cada activo tiene más de una función, por lo tanto, existe una o más fallas funcionales para cada función. Entonces es preciso definir una falla en términos de "pérdida de una función específica" y no con la "falla del activo como un todo". Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: "la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario". (Moubray, 2000)

4.5.6 Modos de falla

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante registrar la "causa raíz" de la falla. Por ejemplo, si se están analizando los modos de falla de los rodamientos de una bomba, es incorrecto registrar el modo de falla como "falla rodamiento". La razón es que el modo de falla registrado no da una idea precisa de porque ocurre la falla. ¿Es por "falta de lubricación"? ¿Es por "desgaste y uso normal"? ¿Es por "instalación inadecuada"? Al analizar en detalle la causa de la falla, se obtiene una idea precisa de porque ocurre la falla, y por consiguiente que podría hacerse para manejarla adecuadamente (lubricación, análisis de vibraciones, etc.). (Moubray, 2000)

Los modos de falla pueden clasificarse en tres grupos:

- ***Capacidad bajo el funcionamiento deseado:*** Deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación, etc.), fallas de lubricación (falta y falla del lubricante), polvo o suciedad, desarme (falla en: soldaduras, uniones, remaches, bulones, conexiones, etc.), errores humanos (reducción de capacidad).
- ***Capacidad por sobre el funcionamiento deseado:*** El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo se torna tan poco confiable que deja de ser útil.
- ***Capacidad Inicial fuera del rango desde el inicio:*** A veces surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo.

La falla funcional identifica un estado de falla: incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura... No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca

con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad, etc.).

4.5.7 Los efectos de falla

Para cada modo de falla debe indicarse los efectos de falla asociados. El efecto de falla es una breve descripción de qué pasa cuando la falla ocurre. Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse. Al describir los efectos de una falla, debemos incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas y debe indicar lo siguiente:

- **En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente:** Debe señalarse la manera en que pueda lesionarse o morir alguna persona o infringir alguna normativa o reglamento relativo al medio ambiente como consecuencia de una falla.
- **Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones:** Debe indicarse cómo y cuánto afecta, ya sea por parada de máquina o varias de ellas, interrupción línea de proceso, etc.
- **Los daños físicos causados por la falla:** Cuantificar los daños.
- **Que se debe hacer para reparar la falla:** Cuales son las medidas correctivas a tomar para repararla.

Las fuentes de información más comunes acerca de modos de falla y sus efectos son las siguientes:

- El fabricante o proveedor del equipo
- Operadores del equipo
- Personal de mantención
- Otros usuarios del mismo tipo de maquina
- Listas genéricas del modo de falla.

4.5.8 RCM Clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos

I. **Consecuencias de las fallas no evidentes (Ocultas):** Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata los fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar, otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

II. **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

III. **Consecuencias Operacionales:** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

IV. **Consecuencias que no son operacionales:** Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación. (Moubray, 2000)

Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso, en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de la falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

4.5.9 Prevención de la falla

Uno de los mejores métodos para mantener alta la disponibilidad del equipo es tener implementado un plan de mantenimiento rutinario. El mantenimiento que se va a ejecutar depende de los objetivos de la empresa y del tipo de equipo que se está analizando. En algunos equipos las fallas son repetitivas, en otros las consecuencias que puede causar la falla no es significativa, pero cuando las consecuencias pueden ser significativas se ha de actuar para evitar daños mayores. Será en estos casos cuando el mantenimiento ha de actuar para prevenir estas fallas o al menos reducir las consecuencias.

4.5.9.1 Tareas a condición

Estas tareas se basan en que la mayoría de las fallas no se producen en un momento puntual, sino que se van desarrollando con el tiempo. Ese tipo de tareas se caracterizan por lo siguiente:

I. Tiene que existir una falla potencial.
II. Debe tener un intervalo P-F (intervalo de tiempo entre el punto en que una falla potencial es detectable y el punto en el que se vuelve en una falla funcional) bien definido.
III. El intervalo de la tarea a realizar debe de ser menor que el intervalo P-F.
IV. El tiempo de descubrimiento de la falla ha de ser lo suficientemente corto, ya que después todavía se ha de examinar cómo actuar en la falla y se ha de realizar la tarea, y todo esto ha de ser menor que el intervalo P-F.

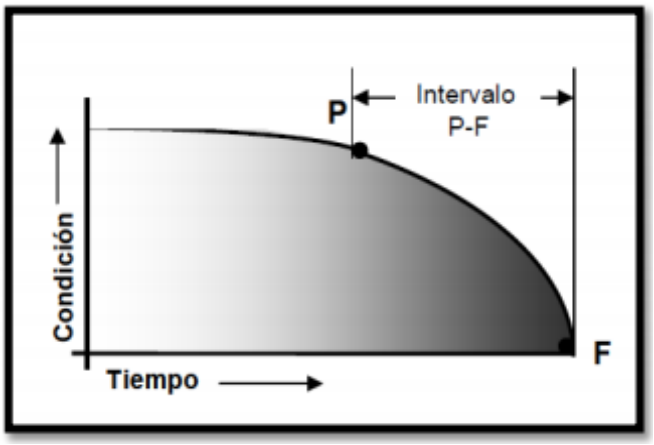


Figura 4.10:Gráfico condición en función del tiempo. Intervalo P-F. (Oyarzún, 2008)

4.5.9.2 Reacondicionamiento cíclico

Se revisan los equipos o se reparan los componentes con una determinada frecuencia (no importa el estado en que se encuentren). La edad a la que se incrementa las opciones de falla del elemento será el condicionante para fijar la frecuencia de revisión. Este tipo de tareas resultan rentables si existe una edad a la cual la probabilidad de falla en los elementos se incremente, y si realizando el mantenimiento se es capaz de devolver al mantenimiento al estado inicial.

4.5.9.3 Tareas de sustitución cíclica

Estas tareas consisten en remplazar un equipo o alguno de sus componentes periódicamente. Este periodo se determina a partir de la vida de los diferentes elementos. Estas tareas serán factibles si los elementos tienen una edad a partir de la cual aumenta la posibilidad de falla considerablemente. En este caso si se consigue recuperar el estado inicial del equipo, ya que los elementos que sustituimos es nuevo completamente.

El RCM a través de criterios simples y fáciles de comprender y aplicar es capaz de decidir que tarea sistemática es la más adecuada en cada ocasión, además, ayuda escoger los periodos en que se realizará la mantención y se encarga de elegir el personal que deberá ejecutarla.

Cuando no hay opción de prevenir la falla, aparte de comprobar si la realización de las tareas preventivas es factible o no, el R.C.M se ocupa también de si merece la

pena o no hacerlas. Si se comprueba que no vale la pena realizar este tipo de tareas, se efectúan otro tipo tareas de mantenimiento llamadas “a falta de”, que tratan ya con el estado de falla. El R.C.M distribuye en tres tipos las tareas “a falta de”:

- Búsqueda de la falla: Se aplica a las fallas ocultas, es decir solamente a los elementos de protección.
- Rediseño: Se considera rediseño al cambiar las características o especificaciones de cualquier componente de un equipo. Además, también se incluyen las modificaciones, al añadir algún elemento nuevo, o la sustitución o reubicación de los equipos.
- Tareas de rutina

4.5.10 Diagrama de flujo del RCM

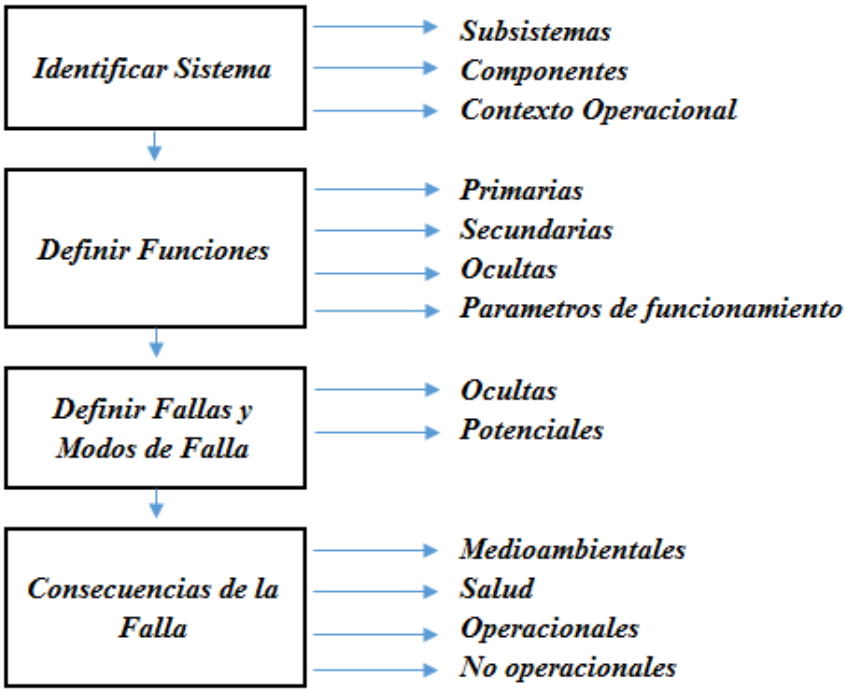


Figura 4.11: Diagrama de flujo del RCM, en donde se muestra la identificación del sistema, la definición de funciones, las fallas y los modos de falla y la identificación de las consecuencias. (Oyarzún, 2008)

4.5.11 Que logra el RCM

A continuación, se nombran los principales logros de aplicar la metodología RCM a la gestión y mantenimiento de equipos:

4.5.11.1 Mayor seguridad e integridad ambiental

Se logra un mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes. Se obtiene una revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional. Se plantean claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas. Se reducen las fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

4.5.11.2 Mejor funcionamiento operacional

Se comprende de una mejor manera los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos. Los diagnósticos de fallas son más rápidos, ya que se tiene la referencia de los modos de falla relacionados con la función y los análisis de sus efectos. Se logran intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.

4.5.11.3 Mayor costo-eficacia del mantenimiento

Se debe a un menor mantenimiento rutinario innecesario. Se puede realizar una mejor compra de los servicios de mantenimiento. Con políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva, existe menor necesidad de usar personal experto, ya que todo el personal tiene mejor conocimiento del equipo. Al saber cómo puede fallar el equipo se tiene una idea más clara para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición.

4.5.11.4 Mayor vida útil de componentes

Debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.

4.5.11.5 Una amplia base de datos de mantenimiento

Logra reducir los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia. El RCM entrega un conocimiento general del equipo

más profundo en su contexto operacional. Además, hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.

4.5.11.6 Mayor motivación de las personas

Especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un "compartir" más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

4.5.11.7 Mejor trabajo de equipo

Los equipos de trabajo se ven más motivados por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones. Esto mejora la comunicación y la cooperación entre las diferentes áreas y personal involucradas en el mantenimiento.

5. CAPITULO V: APLICACIÓN DEL RCM

5.1 Selección del equipo

Para determinar si el Chancador Fuller Traylor es el activo más crítico dentro del área de chancado (Grueso y fino), se realiza un análisis de criticidad, de los equipos en el área, en el cual se evalúan 5 aspectos:

- Daños al personal (En general, periodo enero-diciembre de 2017)
- Impacto ambiental (En general, periodo enero-diciembre de 2017)
- Impacto a la producción (falla más crítica).
- Costo de reparación (Fallas más crítica)
- Tiempo Promedio de reparación (Falla más crítica).

Con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.1: Resultados análisis de criticidad, para elegir el activo más crítico dentro del área de chancado. (Extracto de tabla, ver tabla completa en anexos).

Ítem	Código	Equipo	Fr	Daños al personal	Fr	Impacto ambiental	Fr	Impacto producción	Fr	Costo de Reparación	Fr	Tiempo prom. de falla	Total	Criticidad
1	CHP-010	Chancador Primario	1	1	2	3	5	5	3	5	2	5	57	Alta
3	CHS-010	Chancador Secundario	1	1	1	2	5	3	2	4	2	5	36	Media
7	CT-10	Correa Transportadora CT-10	1	1	1	1	3	5	2	5	2	3	33	Media
8	CT-20	Correa Transportadora CT-20	1	1	1	1	3	5	2	5	2	3	33	Media
27	HA-010	Harnero Scalper	1	2	1	2	3	3	3	5	2	5	38	Media

Para obtener el puntaje total se multiplica el valor de la frecuencia (Fr) por el valor obtenido para cada tipo de parámetro, y se van sumando. El criterio de elección de los valores de la frecuencia y del impacto están explicados en el Capítulo 4, Análisis de criticidad. Al observar los resultados obtenidos, se establece el Chancador Primario como el equipo con mayor criticidad, en el periodo observado. Por este motivo, se plantea un trabajo de titulación para el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en RCM para el Chancador primario Fuller, operación Mantoverde.

5.2 Contexto Operacional

La operación Mantoverde está ubicado a 950 m.s.n.m. y a unos 50 Kilómetros de la ciudad de Chañaral hacia la cordillera. Esta planta procesa óxidos de cobre, desde la extracción de la mina a rajo abierto, hasta la obtención de cátodos de cobre mediante el proceso de SX-EW.

Las condiciones climáticas son estables la mayor parte del año los cielos están despejados, siendo escasa la presencia de lluvia. No existe presencia de ríos, lagunas o lagos que pudiesen alimentar con agua el proceso productivo, por lo que se cuenta con una planta desalinizadora de agua de mar.

Mantoverde posee un solo chancador primario dentro de su línea de producción el cual es alimentado por camiones con capacidad para 90 toneladas provenientes de una mina a rajo abierto. Por hora este chancador procesa unas 1700 toneladas de mineral. El chancador alimenta a un Stockpile de almacenamiento de material (mineral con un diámetro no mayor a 4 ½”), el que se encarga de mantener en stock un mínimo de 60% de su capacidad, para asegurar el continuo proceso productivo de la planta aun cuando el chancador primario este detenido, debido a mantenciones programadas o a paradas no programadas.

5.3 Situación actual de mantención del Chancador

5.3.1 Costos asociados a la mantención

La producción de la empresa (Mantoverde) es de aproximadamente 50.000 [ton] de cobre fino anual, lo que representa 6 [ton] de cobre fino por hora aproximadamente. Si se toma el precio del cobre a 3USD/libra, se tiene que el costo de falla (C_f) por no producción del chancador es de 40.000 USD/hora.

El área de chancado cuenta con un Stockpile de almacenamiento de material, el que puede alimentar el proceso por aproximadamente 2 horas, aun cuando el Chancador está detenido, por lo general este Stockpile se encuentra en un rango del 60-70% de su capacidad máxima, con esto la planta puede continuar con su proceso productivo sin detenerse por 1,5 [h]. Esto implica que detenciones del Chancador menores a 1,5 [h] no deberían producir pérdidas de producción.

El Costo general de mantención (CGM) se divide en:

- Costo de falla (C_f). Perdidas en producción.
- Costo de almacenamiento (C_a). Se estima que es un 5% del costo del repuesto.
- Costo de intervención (C_i), el cual se divide en:
    - Costo de repuesto (C_{rep})
    - Costo mano de obra (C_{HH}). El costo de hora de trabajo por cada hombre, es aproximadamente 24 USD/hora.
    - Costo de insumos (C_{ins}). Este valor se puede despreciar considerando el orden de magnitud de los otros costos.

La información que se obtuvo sobre costos de mantenciones y reparaciones corresponde al año 2017.

Tabla 5.2: Resumen de Análisis de Costos de Fallas Críticas.

Detalle	Horas detención	Cantidad Fallas	Trabajadores por falla	C_{rep} (KUSD)	C_i (KUSD)	C_f (KUSD)	C_a (KUSD)	CGM (KUSD)
Cambio de Cóncavas	24	1	4	43	67,00	900	2,15	969,2
Detención motor eléctrico	27	52	2	0	1,30	0	0	1,3
Cambio de Poste	12	1	6	35	52,00	420	1,75	473,8
Cambio Rodamientos Eje Piñón	8	2	3	8	8,58	260	0,4	269,0
Cambio de eje de extensión	8	2	2	2	2,38	260	0,1	262,5
Estanque de aceite	6	1	3	4	4,43	180	0,2	184,6
Mantención general Araña	5	6	3	25	25,36	140	1,25	166,6
Filtro Válvula de Cierre	2,5	1	2	1	1,12	40	0,05	41,2
Filtro en sist. De lubricación	1	1	3	2	2,07	0	0,1	2,17

De los resultados obtenidos en la tabla 5.2 se debe hacer los siguientes alcances:

- El cambio de cóncavas tiene una duración de 36 [h], pero se realiza cada 18 meses, por lo que se entrega una cantidad de horas proporcional a un año.
- Las detenciones del motor por el sistema de protección, que posee para detectar aumentos de voltaje, corriente, temperatura, etc. No son mayores a 15 minutos

por detención por lo que la detención de Chancador no produce perdidas producción.

- El cambio de poste se realiza una vez al año, y se encuentra programado, por lo que antes de la mantención, se mantiene el Stockpile a máxima capacidad para minimizar las pérdidas de producción por detención.
- Detenciones para realizar cambios o reparaciones con periodos de mantención menores a 1,5 [h], no deberían producir pérdidas de producción, pero se deben programar ya que se debe detener la alimentación suministrada por los camiones desde la mina.

Mediante la herramienta de gestión de Análisis de Criticidad de modo de falla y efectos, se logró determinar el subsistema que presenta una mayor criticidad.

Tabla 5.3: Resultados de Criticidad por Subsistema o componente obtenido del análisis de criticidad y sus posibles costos de falla por pérdidas de producción.

Ítem	Subsistema	Índice Criticidad	Indisponibilidad (Horas/año)	Costo de falla
1	Poste	105	42	1620
2	Revestimientos (Cóncavas)	33	36	1380
3	Conjunto Excéntrica	96	32	1220
4	Conjunto Eje Piñón y Eje Extensión	96	22	820
5	Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste	43	16	580
6	Sistema Lubricación Central	50	13	460
7	Sistema Eléctrico	22	13	460
8	Araña	58	12,1	424
9	Unidad Hidráulica posicionamiento del poste	48	10	340
10	Sistema de Lubricación Araña	31	6	180
11	Cuerpo	18	0	0
12	Sistema sellado de polvo	28	0	0
13	Carro Extracción Excéntrica	5	0	0

La tabla 5.3, muestra de manera cuantitativa, los posibles costos de las fallas potenciales de los Subsistemas. Esta estimación se realiza utilizando la experiencia del grupo de RCM y los datos estadísticos de falla del periodo enero-diciembre de 2017.

Para el cálculo del costo de perdida de producción por hora de detención se considera a US$ 40.000 la hora. Además, Se descuenta el tiempo en que el Stockpile puede continuar alimentando la planta.

El subsistema que tiene una probabilidad y consecuencias de falla más altas, es el poste, aunque las fallas a sus componentes no sucedan todas de una vez, existe la posibilidad que suceda una tras otra, lo que implica un alto riesgo en cuanto a la perdida de producción por detención no programada.

A continuación, se plantea el siguiente ejemplo de como una falla afecta el rendimiento mensual del equipo: En octubre de 2017, el chancador primario sufre una falla en su eje de extensión, la reparación de esta falla provoco una detención no programada del chancador por un periodo aproximado de 8 horas, lo que implica una disminución de 13.600 toneladas de material procesado menos. Esto equivale al 1% de la producción mensual y un costo general de mantención de US$ 262.000.

En general los beneficios que se pueden llegar a obtener aplicando esta metodología son los siguientes:

- Aumento en la producción entre 1-5 %.
- Disminución en los costos generales de mantención entre 1-10%
- Aumento en la disponibilidad del equipo 1-5%.
- La utilización del equipo depende en gran medida del área Mina, ya que son ellos los que alimentan con material este equipo, por lo que no se puede lograr un aumento en la utilización.

5.3.2 Disponibilidad del Chancador

Los equipos reciben una mantención correctiva, excepto en algunos componentes críticos del Chancador en donde la mantención es planificada con tiempo, ejemplo de ello son el cambio de poste y el cambio de cóncavas.

Para componentes menos críticos, se realiza solo mantención correctiva ya que realizar mantención preventiva implicaría detener la línea de producción. Estos componentes solo se revisan cuando fallan o cuando se está realizando una mantención y el equipo está detenido.

A continuación, se presenta los promedios mensuales de la disponibilidad, la utilización, el MTBF, el MTTR y las Toneladas diarias procesadas del Chancador desde Julio de 2017 a noviembre de 2017.

Tabla 5.4: Fuente Departamento de mantención Mantos Copper.

	Disponibilidad	Utilización	MTBF	MTTR	Ton Real
Julio	88%	74%	12,79	0,51	30390,83
Agosto	89%	70%	18,14	0,57	28316,29
Septiembre	89%	69%	14,95	0,50	28176,19
Octubre	89%	70%	14,72	0,58	28348,72
Noviembre	86%	68%	13,42	0,54	25563,42

Ejemplo de cálculo de disponibilidad

Disponibilidad: MTBF / (MTBF + MTTR)

Se toma por ejemplo los valores obtenidos el día 01 de julio de 2017:

Tabla 5.5: Datos obtenidos para el día 01 de julio de 2017. Fuente: Mantos Coppper.

FECHA	*Hrs Op*	*% Disp*	*Utilización*	*MTBF*	*MTTR*
01-07-2017	20,12	92,29%	83,82%	5,54	0,46

Disponibilidad: 5,54/ (5,54+0,46) = 92,3%

Como se puede observar que el promedio de la disponibilidad de los meses de julio a noviembre no supera el 90%. Este trabajo apunta a entregar un plan de mantenimiento el cual logre aumentar la disponibilidad de este equipo.

5.4 Grupo de análisis

La revisión de este activo debería ser llevada a cabo en pequeños grupos que incluyan al menos a una persona de la función de mantenimiento, y una de la función de operaciones. El tiempo que lleven las personas en la empresa no es tan importante como el hecho de tener un conocimiento profundo del activo. La conformación típica de un grupo de revisión RCM se muestra a continuación:

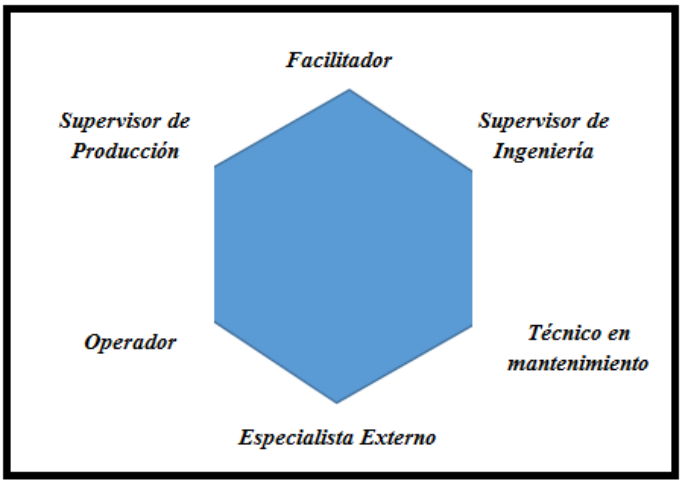


Figura 5.1: Esquema de un grupo de revisión RCM. (Moubray, 2000)

La estructura del grupo de trabajo, no tiene por qué ser exactamente igual a las que muestra la figura 5.1, ya que el objetivo de un grupo de análisis es reunir un equipo de personas que puedan entregar toda la información acerca del equipo analizado.

El facilitador de RCM es el encargado de aplicar el RCM, haciendo preguntas a un grupo de personas con conocimiento del activo que se está analizando. El facilitador debe conocer el proceso RCM y debe asegurar ciertos aspectos:

- Planificar, programar y dirigir las reuniones.
- Guiar al grupo en el análisis de los modos y efectos de falla, además de las actividades de mantenimiento.
- El RCM sea claramente comprendido y correctamente aplicado por parte de los miembros del grupo. Estos deben llegar a una conclusión en forma rápida y ordenada, manejando el entusiasmo individual de los miembros.

5.5 Resultados

5.5.1 Hoja de Información de RCM

Haciendo uso de la información obtenida del FMECA, se puede generar una hoja de análisis RCM (figura 5.2), la que se divide en cuatro columnas donde quedan registrados la descripción de funciones, la falla funcional, el modo de falla y las consecuencias de la falla. Las funciones son enumeradas en orden de importancia. Las Funciones y los Modos de Falla son registrados numéricamente mientras que las Fallas Funcionales son registradas mediante letras.

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	

Figura 5.2: Estructura de la Hoja de Información de RCM. (Moubray, 2000)

5.5.2 Hoja de Decisión de RCM

Una vez completada la hoja de información RCM, se puede completar la Hoja de Decisión de RCM, la cual está dividida en dieciséis columnas (figura 5.3). Las columnas tituladas F, FF y MF guardan relación con la Hoja de información. Se utilizan para correlacionar las referencias entre las Hojas de Información y las Hojas de Decisión.

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Figura 5.3: Hoja de decisión de RCM. (Moubray, 2000)

5.5.3 Diagrama de Decisión

El Diagrama de Decisión de RCM (figura 5.4 y 5.5), muestra el camino a seguir para tomar una decisión dentro de un marco de trabajo estratégico y estructurado; y da respuesta a las siguientes preguntas:

- Que tareas propuestas se plantean para responder ante cada falla funcional, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente críticas como para justificar el rediseño, por ejemplo, alguna falla que pueda causar la muerte de un trabajador o un impacto medioambiental
- En qué casos es más factible esperar que ocurra una falla y aplicar un mantenimiento correctivo a implementar algún tipo de mantenimiento proactivo.

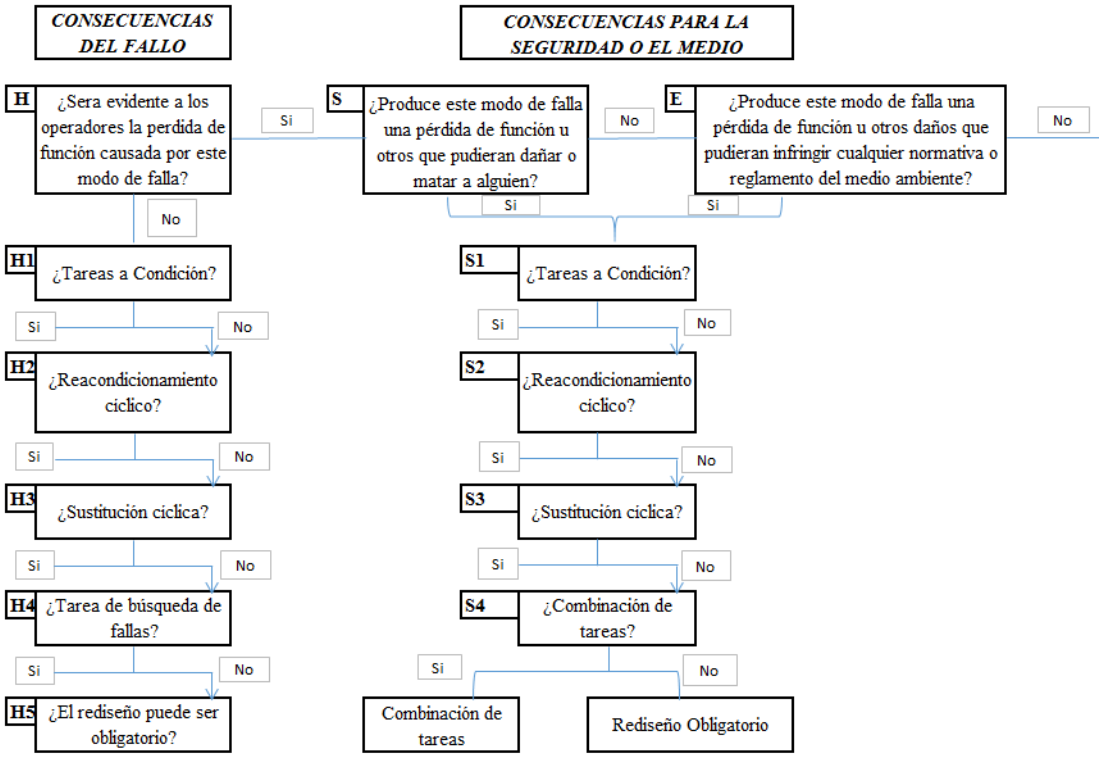


Figura 5.4: Diagrama de decisión, primera parte. (Moubray, 2000)

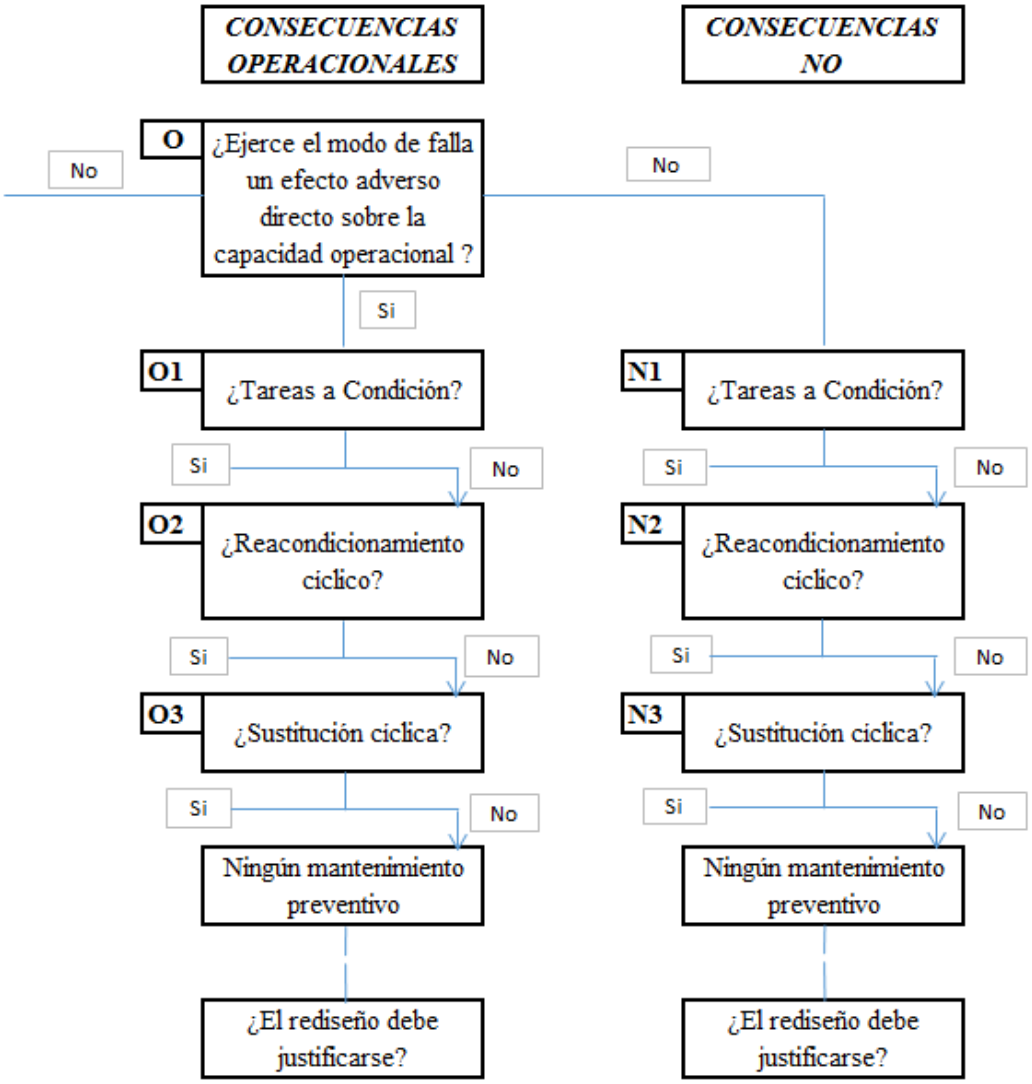


Figura 5.5: Diagrama de decisión, segunda parte. (Moubray, 2000)

5.5.4 Evaluación de las consecuencias de la falla

Las figuras 5.4 y 5.5. son una simplificación del diagrama de decisión (Anexo U), el cual clasifica todas las fallas basándose en sus consecuencias. De esta manera, separa las fallas ocultas de las fallas evidentes, y luego ordena las consecuencias de las fallas evidentes en un orden de importancia decreciente, desde las consecuencias que afecten la seguridad y el medio ambiente hasta las consecuencias no operacionales.

A continuación, se presenta la figura 5.6, la cual entrega el orden lógico de cómo se deben llenar las columnas H, S, E, O y N de la Hoja de Decisión. Cada modo de falla es registrado en una sola categoría de consecuencias. Entonces si es clasificado como que tiene consecuencias en seguridad o ambientales, no se evalúan sus consecuencias operacionales.

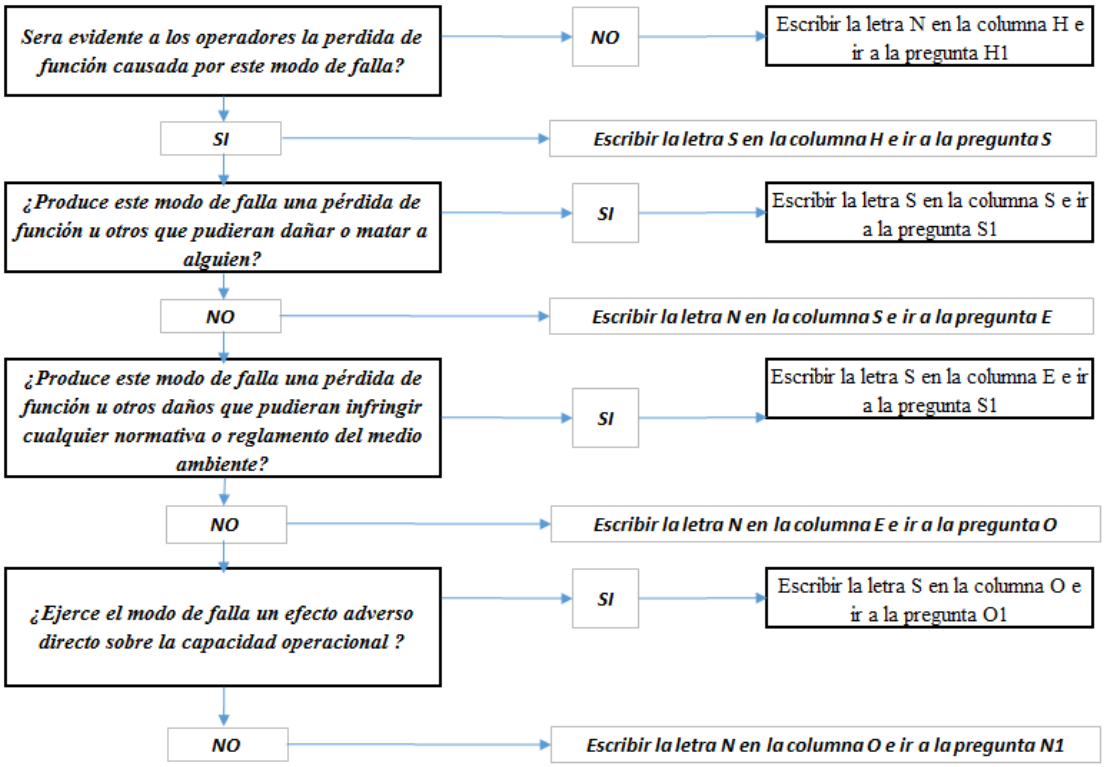


Figura 5.6: Paso a paso de cómo se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión. (Nowlan & Heap, 1978)

Referencia de Información			*Evaluación de las consecuencias*				
F	*FF*	*MF*	*H*	*S*	*E*	*O*	
1	*A*	*1*	*N*				**Una falla oculta:** Para que valga la pena realizar cualquier tarea proactiva (predictiva o preventiva), debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de falla multiple.
1	*B*	*1*	*S*	*S*			**Consecuencias para la seguridad:** Para que valga la pena realizar cualquier tarea proactiva, debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por si sola.
1	*B*	*2*	*S*	*N*	*S*		**Consecuencias para el medio ambiente:** Para que valga la pena realizar, cualquier tarea proactiva, debe reducir el riesgo a un nivel tolerable de esta falla por si sola.
2	*A*	*1*	*S*	*N*	*N*	*S*	**Consecuencias operacionales:** Para que valga la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación que pretende prevenir a travéz de un periodo de tiempo.
4	*A*	*1*	*S*	*N*	*N*	*N*	**Consecuencias no operacionales:** para que valga la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo de reparación que pretende prevenir a través de un periodo de tiempo

Figura 5.7: Detalle de las consecuencias de falla. Se realiza una breve explicación de que significan los resultados obtenidos al haber llenado las columnas H, S, E y O. (Nowlan & Heap, 1978)

5.5.5 Factibilidad técnica de tareas proactivas

En la Hoja de Decisión, las columnas octava, novena y décima, son utilizadas para registrar alguna tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si es que se ha encontrado una tarea a condición apropiada para reducir a un nivel aceptable el riesgo de falla o en el caso operacional esta tarea debe tener un costo menor al costo de reparación de la falla que se quiere prevenir.
- La columna H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico para prevenir las fallas.
- La columna H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

Cualquiera sea el caso, se debe evaluar si la tarea es técnicamente factible y si vale la pena realizarla.

H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	
S			**¿Es tecnicamente factible realizar una tarea a condicion para reducir la consecuencia de la falla?** ¿Hay alguna condicion de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?
N	S		**¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla?** ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de la falla? ¿Cúal es? ¿Ocurren la mayoria de las fallas después de esta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?
N	N	S	**¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución ciclica para reducir la frecuencia de la falla?** ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de la falla? ¿Cúal es? ¿Ocurren la mayoria de las fallas después de ésta edad?

Figura 5.8: Criterios de factibilidad técnica. Fuente: Diagrama de decisión RCM.

En el caso de encontrar alguna tarea ya sea a condición, reacondicionamiento cíclico o sustitución cíclica, se debe registrar la tarea detalladamente, dejando claro lo que se debe realizar y con qué frecuencia.

5.5.6 Las preguntas “a falta de”

En la hoja de Decisión, las columnas H4, H5 y S4 son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. La figura 5.9 muestra cómo se responden a éstas tres preguntas. Estas preguntas sólo se realizan si las respuestas a las tres preguntas previas de factibilidad técnica de las tareas proactivas fueron todas negativas.

Referencia de informacion			*Evaluación de las consecuencias*				*H1* / *S1* / *O1*	*H2* / *S2* / *O2*	*H3* / *S3* / *O3*	*Tareas "a falta de"*		
F	***FF***	***MF***	***H***	***S***	***E***	***O***	***N1***	***N2***	***N3***	***H4***	***H5***	***S4***
1	A	1	N				N	N	N	S		
1	B	4	N				N	N	N	N	S	
1	C	2	N				N	N	N	N	N	
2	B	2	S	S			N	N	N			S
3	A	1	S	S			N	N	N			N
4	A	1	S	N	N	S	N	N	N			
4	B	2	S	N	N	N	N	N	N			

(1) ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?

(2)¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o medio ambiente?

(3) ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?

(4) En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada

Figura 5.9:Los resultados de las preguntas "A falta " son registradas en las columnas H4, H5 y S4.

1. Registrar "SI" si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.
2. Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es "NO". Si la respuesta a esta pregunta es "SI", el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es "No, la acción "a falta de "es no realizar mantenimiento preventivo, pero el rediseño puede ser deseable.
3. Responder "SI", si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falta a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es "No", el rediseño es obligatorio.
4. Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.

Las últimas tres columnas de la hoja de decisión, registran la tarea que ha sido seleccionada, la frecuencia con la que debe hacerse y quién es el encargado de realizarla. La columna de "Tareas Propuestas" también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

6. CAPITULO VI: RESULTADOS DEL ANALISIS RCM

6.1 Araña

Tabla 6.1: Hoja de Información RCM : Araña.

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Araña	***11-04-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Su función básica es guiar al extremo superior del eje principal para que este pueda efectuar el movimiento pendular necesario para el chancado. Su diseño permite distribuir en forma uniforme el material en la cámara de chancado del equipo.	A. Pernos sueltos de los revestimientos impiden que realice su función correctamente.	1. Impacto del material sobre los revestimientos de la araña provocan que los pernos se suelten con el paso del tiempo.	Riesgo de que se suelten los revestimientos. Detención del chancador para reparar la falla (Reapriete de pernos). Parada no programada implica pérdidas de producción.	
	B. Pernos sueltos de la pieza principal, dificultan que la araña quede fija al cuerpo del chancador.	1. Impacto del material sobre los la araña provoca que los pernos se suelten con el paso del tiempo.	Probabilidad de que se suelten los pernos de fijación del cuerpo principal, lo que conlleva a que la araña se levante. Además, se puede dañar el buje de la araña y el lugar de encaje de la araña con el Cuerpo superior.	
	C. Desgaste de los revestimientos .	1. Impacto del material sobre los revestimientos de la araña provocan que los revestimientos se desgasten al punto de perder funcionalidad.	Detención del chancador para reparar la falla (Cambio de los revestimientos de la araña o en su defecto el cambio de la araña).	
	D. Buje dañado o desgastado .	1. Eje no alineado, ya que el poste trabaja cargado hacia un lado.	El buje se desgasta, ya que no cumple su función de apoyo para el eje de manera correcta. Esta pieza debe ser cambiada cuando se haga un cambio de la araña.	

Tabla 6.2: Hoja de Decisión RCM : Araña

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Araña						***11-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección Visual luego de la instalación de la araña. Inspección pernos sueltos o cortados, reapriete o cámbielos.	Después de 24 horas, luego a las 48 horas.	2 Mecánicos de mantenimiento
1	B	1	S	N	N		S						Inspección Visual. Inspección pernos sueltos o cortados, reapriete o cámbielos.	Después de 24 horas, luego a las 48 horas.	2 Mecánicos de mantenimiento
1	C	1	N				S						Monitoreo mediante ultrasonido el espesor de los revestimientos. El espesor no debe ser inferior al 50% del espesor original.	Cada 3 meses	2 Mecánicos de mantenimiento
1	D	1	S	N	N	S	S						El operador puede observar si existe filtración de grasa por encima del poste, si es así indica que el buje presenta problemas, se recomienda cambio. Inspección en busca de desgaste o daño excesivo.	Inspección completa en mantención mensual. Inspección diaria por parte del operador.	Mecánicos de mantenimiento / operador

6.2 Poste

Tabla 6.3: Hoja de Información RCM : Poste.

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Poste	***10-04-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Realizar el chancado de mineral por medio de la presión ejercida entre planchas de revestimiento. Procesar 1700 ton/h.	A. Mal funcionamiento del eje, este no gira.	1. Buje exterior pegado a la excéntrica.	El eje deja de girar, se deja de triturar el material, el chancador se detiene. Se debe preparar la mantención para reparar la falla.	
		2. Contraeje Cortado, Pernos o chaveta de corona dañadas.		
		3. Problemas en Sistema eléctrico. Corte de energía o motor eléctrico no funciona.	Se detiene el chancador. El eléctrico de turno debe revisar la causa de la detención, reparar y poner en marcha el motor.	
		4. Atascamiento de material en la cámara de trituración	El chancador queda detenido por algún material inchancable.	
		5. Fragmentos de Hierro, en la cámara del chancador.	El chancador queda detenido por algún elemento inchancable, como son los dientes de las palas.	
	B. Eje gira muy rápido, o con régimen excéntrico	1. Buje interior se pega al poste .	Se puede quemar el buje. Detención del chancador. Daño severo.	
	C. Mantos sueltos superior o inferior	1. Oscilación del manto en el centro del poste, causada por elongación del manto debido al duro trabajo en áreas localizadas.	Detención de la alimentación del chancador para realizar inspección visual del manto mientras se tritura la última parte de la carga. Si se confirma que los mantos están sueltos se debe detener el chancador.	
	D. Tuerca de ajuste suelta	1. Mala instalación en mantención. Cordones de soldadura defectuosos.	Se suelta la tuerca, los mantos se pueden soltar. La detención del chancador es inevitable ya que si los mantos se sueltan el poste girara al interior y los mantos sueltos no realizaran la función de triturar el material.	
	E. Sellos dañados grafito	1. Desgaste excesivo debido al roce del material.	Contaminación del aceite con material. Los sellos deben ser cambiados.	

Tabla 6.4: Hoja de Decisión RCM : Poste

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Poste						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S							Inspección y mantenimiento al sistema de lubricación.	Mensual	02 Mecánicos de mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S							Inspección y mantenimiento al sistema de lubricación.	Mensual	02 Mecánicos de mantenimiento
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo	Según condición	02 Eléctricos de mantenimiento
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Limpie la cámara bajando el poste. Reajuste el chancador y vuelva a arrancar. Compruebe que el ajuste del chancador no sea menor al recomendado.	Según condición	Operador
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Remueva la obstrucción bajando el poste. Reajuste y vuelva a arrancar el chancador. Si no funciona, debido a que la obstrucción está muy atascado, despeje la cámara de chancado.	Según condición.	Operador
1	B	1	S	N	N	S	S						Inspección y mantenimiento al sistema de lubricación.	Semanal	02 Mecánicos de mantenimiento
1	D	1	S	N	N	S	N	N	N				Revisar el espacio entre la tuerca y la parte inferior de la araña, para determinar la cantidad de desgaste y ajuste del eje restante. Registre Observaciones.	Según Condición	02 Mecánicos de mantenimiento
1	E	1	N				S						Inspección en cada desarme, medir el desgaste.	Según Condición	02 Mecánicos de mantenimiento

6.3 Conjunto Eje piñón y Eje de extensión

Tabla 6.5: Hoja de Información RCM : Conjunto Eje piñón y Eje de extensión.

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Conjunto Eje piñón y Eje de extensión	***10-04-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Entregar el torque al excéntrico mediante un motor eléctrico de 400HP. El piñón debe girar a 690 RPM	A. Desgaste y daño en la jaula de los rodamientos.	1. Las vibraciones producto del movimiento del chancador producen la soltura mecánica y con esto el desgaste y daño de los rodamientos.	Ruidos extraños, y aumento de temperatura. El chancador debe detenerse, para realizar el cambio de los rodamientos.	
	B. Desgaste abrasivo.	1. Filtros no retienen partículas contaminantes provenientes del medio.	Desgaste de los rodamientos, también puede provocar la degradación del lubricante. Se debe realizar cambio de aceite.	
		2. Contaminación del lubricante con partículas metálicas provenientes de una zona desgastada.	Desgaste de los rodamientos, también puede provocar la degradación del lubricante. Se debe realizar cambio de aceite.	
		3. Problemas en sellos y/o filtrado del sistema de lubricación.	Desgaste de los rodamientos, también puede provocar la degradación del lubricante. Se debe realizar cambio de aceite.	
	C. Falla del acoplamiento	1. Material inchancable produce sobre exigencia de la excéntrica, conjunto eje piñón y eje de extensión.	Corte de eje o acoplamiento. Posterior detención del equipo, finalmente pérdidas de producción.	
		2. falta de lubricación causada por la fuga de éste producto del desgaste.	Al existir falta de lubricación, se produce un aumento de la temperatura. Los componentes se encuentran en contacto directo, fierro con fierro lo que termina en la falla de uno de los componentes.	
		3. Llenado deficiente de lubricante, un tapón que no fue puesto o un empaque dañado.	Lubricación deficiente produce un aumento de la temperatura. Los componentes se encuentran en contacto directo, fierro con fierro lo que termina en la falla de uno de los componentes.	

Tabla 6.6: Hoja de Decisión RCM : Conjunto Eje piñón y Eje de extensión.

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Conjunto Eje piñón y Eje de extensión						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Realizar inspección. Reparar según se requiera.	semanal	Mecánicos de mantenimiento
1	B	1	N				S						Realizar inspección. Reparar según se requiera.	semanal	Mecánicos de mantenimiento
1	B	2	N				S						Realizar inspección. Reparar según se requiera.	semanal	Mecánicos de mantenimiento
1	B	3	N				S						Realizar inspección. Reparar según se requiera.	semanal	Mecánicos de mantenimiento
1	C	1	N				S						Observe la operación del contraeje y eje de extensión en busca de ruidos y vibraciones inusuales. Repare según se requiera.	Según condición	Mecánicos de mantenimiento
1	C	2	N				S						Abrir y revisar mensual	Mensual	Mecánicos de mantenimiento
1	C	3	N				S						Abrir y revisar mensual	Mensual	Mecánicos de mantenimiento

6.4 Excéntrica

Tabla 6.7: Hoja de Información RCM : Excéntrica.

Hoja de Información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Excéntrica	***15-03-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Este conjunto está encargado de producir el efecto giratorio del eje principal.	A. Atascamiento de la Excéntrica: Manto de trituración girará a la velocidad de la excéntrica.	1. Adhesión entre eje y el buje de la excéntrica	No se podrá levantar ni bajar completamente con el cilindro de ajuste, aún con la cámara vacía. El motor sigue girando lo que puede terminar en el corte del acoplamiento o eje.	
	B. Buje quemado o quebrado: Aumento de desgaste en el buje.	1. Falta de lubricación, debido a Aceite sucio, filtro de aceite tapado, sello no funciona	Genera hollín, se puede observar partículas de carbón en las muestras de aceite.	
	C. Ruido en el conjunto Piñón Corona. Desgaste excesivo en los dientes del piñón.	1. Espesor inadecuado de la empaquetadura entre el cuerpo inferior y la placa inferior, menor al juego del diseño.	Aumento de temperatura en puntos de contacto. Se revisa completo el equipo, Se realiza cambio de aceite.	

Tabla 6.8: Hoja de Decisión RCM : Excéntrica

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Excéntrica						***10/04/2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección de lubricación. Inspeccionar las superficies internas y externas de la excéntrica, por desgaste y estriamiento excesivo. Medir el juego a 90°, este no debe ser mayor a 0,061”, de lo contrario cambiar excéntrica.	Mensual	Mecánicos de mantenimiento
1	B	1	N				S						Revisar y Cambiar filtro en caso de ser necesario, controlar niveles de aceite. Inspeccionar el Buje excéntrico interior por desgaste y estriamiento excesivo.	Mensual	Mecánicos de mantenimiento
1	C	1	N				S						Mantenimiento predictivo. Realizar medición de temperatura. Revisar la condición del engranaje cónico y su piñón, y los rodamientos del piñón en busca de desgaste excesivo.	1 vez al día	Mecánicos de mantenimiento

6.5 Conjunto cilindro Hidráulico para el posicionamiento del poste

Tabla 6.9: Hoja de Información RCM : Hydroset

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Hydroset	***15-02-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Proporciona el movimiento vertical del eje principal, para propósito de ajuste y para liberar una obstrucción.	A. Chancador no mantiene ajuste.	1. Fuga de aceite, Válvula solenoide gotea, aire en el sistema, sello de aceite Hydroset	Mala calidad de mineral, granulometría fuera del rango especificado.	

Tabla 6.10: Hoja de Decisión RCM : Hydroset

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Hydroset						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1S1O1	H2S2O2	H3S3O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Revisar por condiciones inusuales como sonidos/olores/temperatura/vibración, repare según se requiera. Revisar nivel de aceite con un calibrador de vista. Revise que la válvula no este traqueteando ni con una temperatura elevada. Revise mangueras/cañerías/empaquetaduras/sellos/fittings por filtraciones. El anillo de desgaste ranurado ubicado en la parte superior del embolo no puede tener un desgaste mayor de 3[mm]. En caso contrario, debe cambiarse.	Semanal	2 Mecánicos

6.6 Revestimientos

Tabla 6.11: Hoja de Información RCM : Revestimientos.

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Revestimientos	***15-02-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Proteger las partes del chancador expuesta a desgaste debido al impacto y roce del mineral.	A. Desgaste revestimientos de la araña.	1. Impacto de mineral en las corazas de la araña.	Si la araña se ve afectada por el impacto directo del material, dejara de cumplir su función, lo que implicaría una detención del chancador.	
	B. Desgaste de cóncavas.	1. Impacto de material y desgaste por trituración de material	Si el desgaste de la cóncava es muy severo, el material que impacta en ella puede comenzar a dañar el cuerpo del chancador.	
	C. Desgaste de revestimientos Cuerpo Inferior.	1. Impacto de material.	Si el revestimiento está muy desgastado deja de cumplir la función de proteger el Cuerpo inferior del chancador. Si no es posible cambiar el revestimiento se le sueldan placas de acero para cubrir provisoriamente el sector dañado.	
	C. Desgaste de revestimientos del poste	1. Impacto de material y desgaste por trituración de material	En caso de que el manto del poste fallara, este dejaría al descubierto el núcleo del poste, el cual al recibir un impacto de material se dañaría rápidamente ya que no está diseñado para esa función.	

Tabla 6.12: Hoja de Información RCM : Revestimientos.

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Revestimientos						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección Visual luego de la instalación de la araña. Reapriete de pernos.	Después de 24 horas, luego a las 48 horas.	Mecánicos de mantenimiento
1	B	1	N				S						Inspección de Cóncavas. Utilizar medición de espesor por ultrasonido. Consideraciones: Los cóncavos deben quedar montados con una holgura equidistante entre ellos, y entre hileras de cóncavos, para permitir su expansión durante la operación del chancador. Los cóncavos de cierre deben quedar ubicados bajo los brazos de la araña y a 180° unos de otros en corridas contiguas	Cada 3 meses. Llegando al 15° mes la inspección debe hacerse mensual.	Mecánicos de mantenimiento
1	C	1	N				S						Inspeccionar piezas faltantes, grietas, desgaste excesivo, reemplace los revestimientos según se requiera.	Según condición	Mecánicos de mantenimiento
1	D	1	S	N	N	S	N	N	N				Cuando se realice la instalación de la tuerca de fijación, verificar los pines, los cordones de soldadura, verificar tuerca, llevar a cabo el procedimiento.	Según Mantención programada	Mecánicos de mantenimiento

6.7 Sistema de Lubricación del Chancador

Tabla 6.13: Hoja de Información RCM : Sistema de Lubricación del Chancador (parte 1).

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Sistema de Lubricación del Chancador.	***15-02-2018***	***1***	***2***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Transferir el aceite lubricante desde el estanque hacia las diferentes partes del equipo.	A. Incapaz de transferir el aceite lubricante o lo hace de forma defectuosa.	1. Baja capacidad de aceite, perdida en mangueras, fallas en el intercambiador de calor.	Ruptura de los distintos componentes, lo que implica la detención del chancador para realizar el mantenimiento correctivo correspondiente.	
	B. Bomba hidráulica opera con ruido y vibración	1. Nivel bajo de aceite en estanque unidad de potencia.	Detención automática del chancador. Deber ser inspeccionada por personal de mantención	
	C. Bomba opera en baja presión	1. Viscosidad aceite unidad de potencia baja	Detención automática del chancador, ya que tiene sensores que detienen el chancador ante cualquier irregularidad en el sistema de lubricación. Deber ser inspeccionada por personal de mantención	
		2. Línea de aceite rota o con fuga.		
		3. Interruptor de presión desajustado aliviando en baja presión prematuramente.		
		4. Válvula de retención y/o válvula, de pie se mantienen precisamente abierta.		

Tabla 6.14: Hoja de Información RCM : Sistema de Lubricación del Chancador (parte 2).

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Sistema de Lubricación del Chancador.	***10-04-2018***	***2***	***2***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
2. Lubricación de la araña.	A. Bomba opera pero no hay impulsión de grasa.	1. Tambor de lubricante vacío	Detención automática del chancador, debido al control por PLC.	
		2. Rotación del motor eléctrico de la unidad de potencia es erróneo.		
		3. Válvula de alivio de la unidad de potencia abierta		
	B. Bomba opera continuamente pero flujo de grasa es irregular.	1. Material extraño en asiento válvula, de retención del pistón de la bomba o válvula de pie.		
3. Contener el aceite Lubricante	A. Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de este.	1. Estanque roto o dañado.	Perdida de aceite proporcional al daño del estanque, Falta lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja presión.	

Tabla 6.15: Hoja de Decisión RCM : Sistema de Lubricación del Chancador.

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Sistema de Lubricación del Chancador						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisar cañerías y sistema en general en busca de filtraciones de aceite. Revisar el intercambiador de calor.	semanal	Mecánicos
1	B	1	S				S						Revisar velocidad, viscosidad del aceite, presiones de entrada y de salida, temperatura, filtraciones. El aceite no debe sobrepasar los límites mínimos o máximos de temperatura del aceite, ni someter el equipamiento a choques térmicos. Revisar protecciones de seguridad. Revisar los pernos de fijación del equipo, que estén apretados y sin que falten unidades. Revisar filtros.	semanal	Mecánicos
1	C	1	N				S							semanal	Mecánicos
1	C	2	N				S							semanal	Mecánicos
1	C	3	N				S							semanal	Mecánicos
1	C	4	N				S							semanal	Mecánicos
2	A	1	N				S						*Presión de aire: Asegurar que la entrada de presión de aire a la bomba este en la presión de aire de la planta o cerca, en el calibrador de presión cerca del regulador. * Regulador: Revisar regulador de aire por daños o filtraciones. *Filtro de aire: Revisar la condición del filtro, límpielo cuando no esté operando el chancador. *Revisar mangueras-Cañerías y Fittings. *Revisar bomba por condiciones inusuales como sonidos/olores/temperatura/vibraciones, repare según se requiera. *Revisar el nivel de grasa en el tambor visualmente.	Diaria	Operador/ Mecánico
2	A	2	N				S								
2	A	3	N				S								
2	B	1	S				S								
3	A	1	S	N	S		S						Revisar el depósito de aceite en busca de filtraciones. Revisar cañerías y válvulas. Drenar y limpiar, saque todo resto de basura y sedimentos.	Semanal	Mecánicos

6.8 Unidad Hidráulica Posicionamiento del poste

Tabla 6.16: Hoja de Información RCM : Unidad Hidráulica posicionamiento del poste.

Hoja de Información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Unidad Hidráulica posicionamiento del poste	***15-02-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Bombear el líquido hidráulico necesario para el movimiento del pistón hidráulico de posición del poste.	A. Falla en válvula de alivio.	1. Mala operación de válvula por parte de mantenedores.	Fuga de aceite, desde el estanque de almacenamiento. Contaminación ambiental. Finalmente se debe detener el chancador.	
	B. Bomba con ruido producto de la cavitación.	1. Nivel de aceite en el estanque muy bajo.	Generación de ruidos (similar al golpeteo de un martillo en la bomba), vibraciones que pueden producir fallas en los sellos, rodamientos y otros zonas de la bomba que se fatigan.	
		2. Obstrucción en la línea de entrada a la bomba.	Bajo nivel de lubricante en línea, lo que produce una disminución de la presión.	
		3. Filtros bloqueados o restringidos.	Problemas de presión de aceite ya que este no podrá circular correctamente.	
	C. Motor eléctrico no parte.	1. Conexiones eléctricas defectuosas o sueltas. Bajo voltaje	Bomba no es capaz de generar la presión suficiente de descarga.	

Tabla 6.17: Hoja de Decisión RCM : Unidad Hidráulica posicionamiento del poste.

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Unidad Hidráulica posicionamiento del poste						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Pauta de inspección. En caso de fallar Bomba, se debe cambiar utilizar bomba en stand by.	Semanal	Mecánicos
1	B	1	S	N	N	N	S						Revisar los elementos del filtro y camisas en busca de polvo o basura. Revisar las camisas del filtro y fitting en busca de señales de filtración y daño. Remover e inspeccionar los coladores del depósito, limpiar en caso de ser necesario. Drenar y limpiar depósito, sacar todo resto de basura. Inspeccionar empaquetaduras y sellos.	Semanal	Mecánicos
1	B	2	S	N	N	N	S								
1	B	3	S	N	N	N	S								
1	C	1	S				S						Pauta de inspección.	Semanal	Mecánicos

6.9 Motor Eléctrico

Tabla 6.18: Hoja de Información RCM : Motor Eléctrico.

Hoja de información RCM	***Sistema/Activo***	***Sistema N°***	***Facilitador***	
	Chancador Fuller Traylor	***1***	***Cristóbal Zavala Medina***	
	Sub-Sistema/Componente	***Fecha***	***Hoja***	***De***
	Motor Eléctrico	***10-04-2018***	***1***	***1***
Función	***Falla Funcional***	***Modo de Falla (Causa de la Falla)***	***Efectos de las Fallas (Que sucede cuando falla)***	
1. Se encarga de convertir la energía eléctrica en movimiento o energía mecánica, y de esta manera dar el torque al Chancador.	A. Motor no entrega torque al chancador.	1. Desbalance de Fases, debido a la sobrecarga del motor. Vibraciones y sobresfuerzo.	Al sobrecargarse el motor, provoca que este trabaje fuera del rango de voltajes operación establecido para el chancador, automáticamente se detiene debido a la unidad de protección Multipilin 269.	
		2. Sobre corriente en el motor, producto de la sobre carga exigida al chancador.	Al sobrecargarse el motor, provoca que este trabaje con sobre corriente, en ese momento la unidad de protección Multipilin 269 detiene automáticamente el motor.	
	B. Falla la aislación del motor.	3. Humedad en el ambiente producto de diferentes factores: Mucha humedad en las noches, filtraciones de agua de pisos superiores, etc.	Al detectar humedad en el motor la unidad de protección Multipilin 269 automáticamente detiene el motor.	

Tabla 6.19: Hoja de Decisión RCM : Motor Eléctrico.

Hoja de Decisión RCM							***Sistema/Activo***						***Sistema N°***	***Facilitador***	
							Chancador Fuller Traylor						***1***	***Cristóbal Zavala M.***	
							Sub-Sistema/Componente						***Fecha***	***Hoja***	***De***
							Motor Eléctrico						***10-04-2018***	***1***	***1***
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo	Según condición	Eléctricos
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo	Según condición.	Eléctricos
1	B	1	S	N	N	S	S						Inspección diaria del área en donde se encuentra en chancador. Reparado filtraciones o fuentes de humedad.	Diaria	Mecánicos

CONCLUSIONES

Se realizó un análisis de criticidad del área de chancado (Fino y grueso), para determinar si el Chancador Primario, era el equipo más crítico del área. Para este análisis se consideraron 5 factores:

- Daños al personal (En general, periodo enero-diciembre de 2017)
- Impacto ambiental (En general, periodo enero-diciembre de 2017)
- Impacto a la producción (falla más crítica).
- Costo de reparación (Fallas más crítica)
- Tiempo Promedio de reparación (Falla más crítica).

Para entender el funcionamiento del equipo, se realiza una descripción general de sus subsistemas o componentes principales. Se utilizan herramientas como los diagramas de bloques, diagramas EPS, arboles de falla y FMECA con el objetivo de encontrar las fallas y las causas de estas. Para realizar el análisis de las fallas y modos de fallas de un sistema, se buscó información del fabricante o proveedor del equipo, experiencia de personal de operaciones y/o mantenimiento y otros usuarios del mismo tipo de equipo, teniendo siempre en cuenta el mismo contexto operacional.

Mediante el Análisis de criticidad de Modo de Falla y Efectos (FMECA) se determinó el componente crítico del chancador. El resultado de este análisis entrega el eje principal o poste como el subsistema o componente más crítico del Chancador. La determinación de este componente ayuda a enfocar los esfuerzos del programa de mantención para evitar de que este subsistema falle, y el equipo sea detenido fuera de una mantención programada. La detención del Chancador por la falla de este componente, puede tener consecuencias económicas por sobre los US$ 400.000, en el caso de tener que cambiar el poste completamente, ya que se generan pérdidas de producción, al tener la planta detenida, debido a que el Stockpile solo da una autonomía de 1,5 [h] de alimentación a la planta.

Al realizar un estudio de las fallas del Chancador y entregar un plan de mantenimiento para evitar fallas tales como: el cambio del eje de extensión o la reparación del estanque de aceite del sistema de lubricación, se puede ahorrar en costos

de mantención correctiva que superan los US$200.000, ya que estas son fallas evitables aplicando una correcta pauta de mantención semanal.

El cálculo de los beneficios económicos está basado en la opinión y experiencia del personal del grupo de trabajo, la cual fue respaldada con información estadística disponible. Se consideró las frecuencias de fallas registradas hasta la fecha. Los resultados de este plan de mantención se podrían conseguir si se aplican las tareas propuestas para cada sistema analizado.

El desarrollo de las tareas de mantenimiento mediante la metodología RCM se enfoca en aplicar tareas de mantenimiento según sean las causas de indisponibilidad en el sistema. De esta manera se realizan sólo actividades necesarias para que el activo siga cumpliendo las funciones que los usuarios quieran en su actual contexto operacional.

Se entrega un documento el cual contiene los eventos que causan pérdidas de función, de manera que sirve como un documento de consulta para encontrar el origen de una falla. Por lo tanto, el personal de mantenimiento puede recurrir a este documento para detectar y diagnosticar fallas, además de lograr un mejor entendimiento de los procesos por parte del personal de mantenimiento, mayor conciencia en la criticidad de los procesos y los costos relacionados a las fallas.

Las hojas de información y las hojas de decisión RCM obtenidas son el primer paso para implementar un plan de mantenimiento RCM, por tal razón es de esperarse que, en caso de llevarse a cabo, el desarrollo sufra modificaciones producto de la adaptación que se realice, este proceso debe hacerse posterior a cualquier análisis RCM y se sale del alcance dado que este trabajo tiene como objetivo diseñar las actividades y proponerlas, pero no implementarlas.

Este plan de mantenimiento teórico, es fácil de confeccionar y la efectividad real de este, podría verificarse si se aplica en forma práctica. En el caso de que los beneficios sean positivos, se podría aplicar a otros equipos dentro del área de chancado o en otras áreas de la empresa.

REFERENCIAS

Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., & Magaña Jiménez, D. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.* Saltillo, Mexico: Corporación Mexicana de Investigación en materiales.

Amendola, L. (2006). *Gestión de proyectos de activos industriales.* Valencia: Editorial UPV.

Arata, A. (2006). *Ingenieria y Gestión de la confiabilidad Operacional en plantas industriales.* Santiago: Ril Editores.

Arenas, G. C. (2006). *Hidrometalurgía Avanzada.* Viña del Mar: Universidad Andrés Bello.

Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas. (2000). *El análisis de Fllas con Diagramas de Árbol*. Obtenido de http://www.tdi.texas.gov: http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulttree.pdf

Codelco. (2017). *codelcoeduca*. Obtenido de codelcoeduca: https://www.codelcoeduca.cl/

D., D. P. (2003). *Mantención de un Chancador Sandvick H-8000.* Santiago: Informe Final.

FFE Minerals Chile S.A. (2014). *Capacitación en mantenimiento y montaje de chancadores rotatorios Fuller 60"x89".* Santiago.

Moubray, J. (2000). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* Lutterwoth , United Kingdom: Aladon Lda.

Nowlan, S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability Centered Maintenance.* San Francisco: U.S. Department of commerce.

Opazo, C. (2006). *Implementación de un sistema de inspección para la unidad de chancado.* Curicó: Memoria.

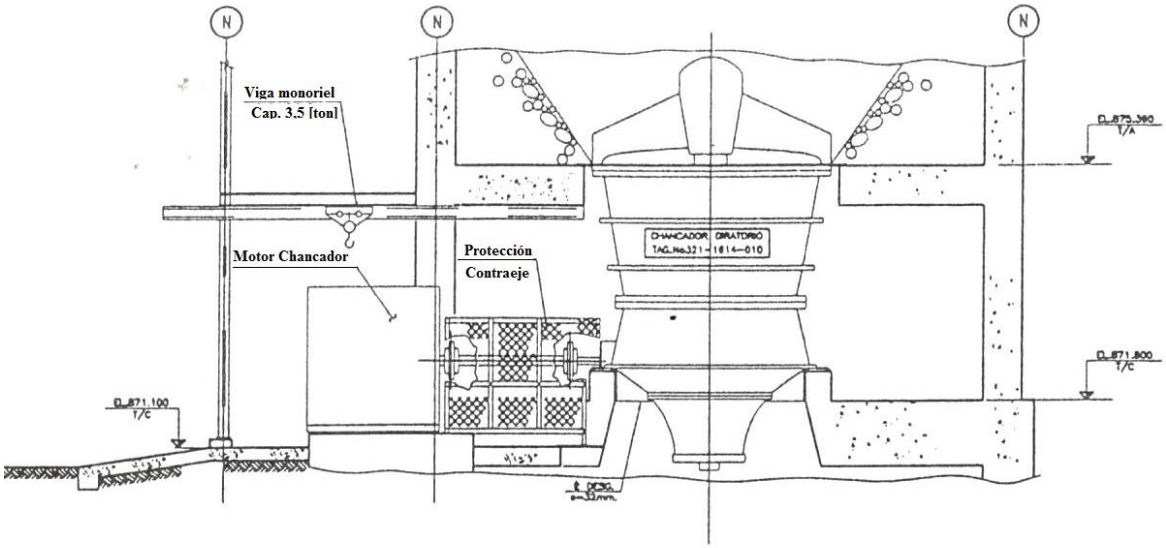
Oyarzún, D. V. (2008). *Aplicación de RCM en Motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina.* Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Pistarelli, A. (2010). *Manual de Mantenimiento.* Buenos Aires: Talleres Gráficos R y C.

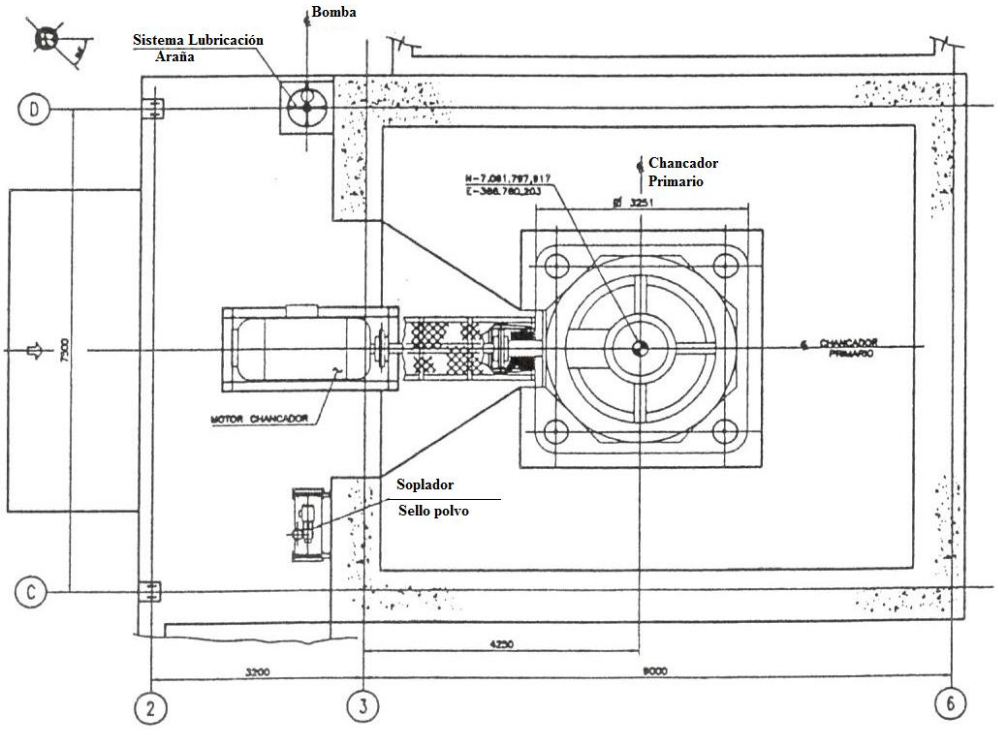
Tolentino, J. G. (2004). *Mantenimiento Industrial.* Obtenido de https://es.slideshare.net/JorgeGamarraTolentino/libro-demantenimientoindustrial-24925104

ANEXOS

Anexo A: Chancador Primario

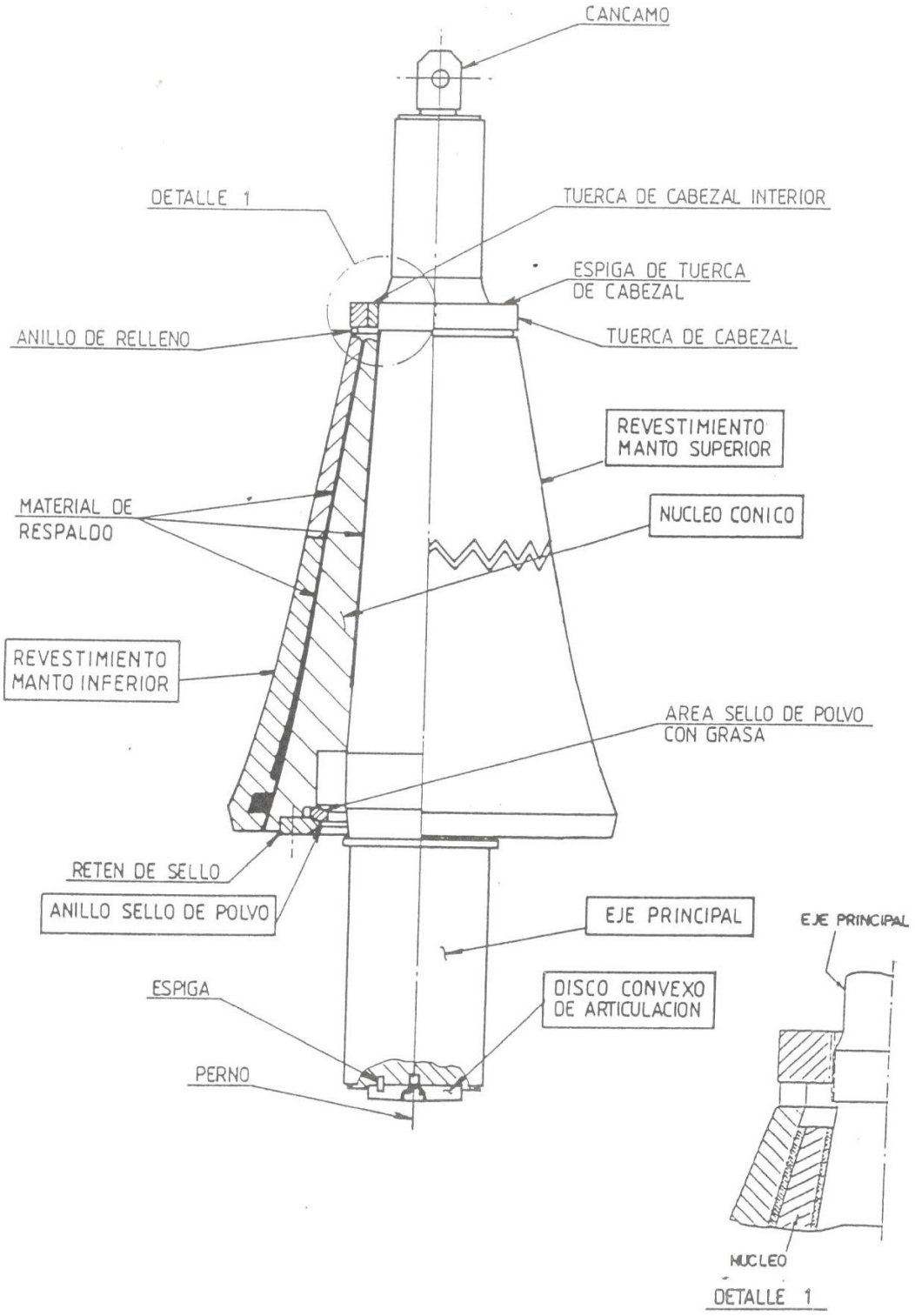


ELEVACION

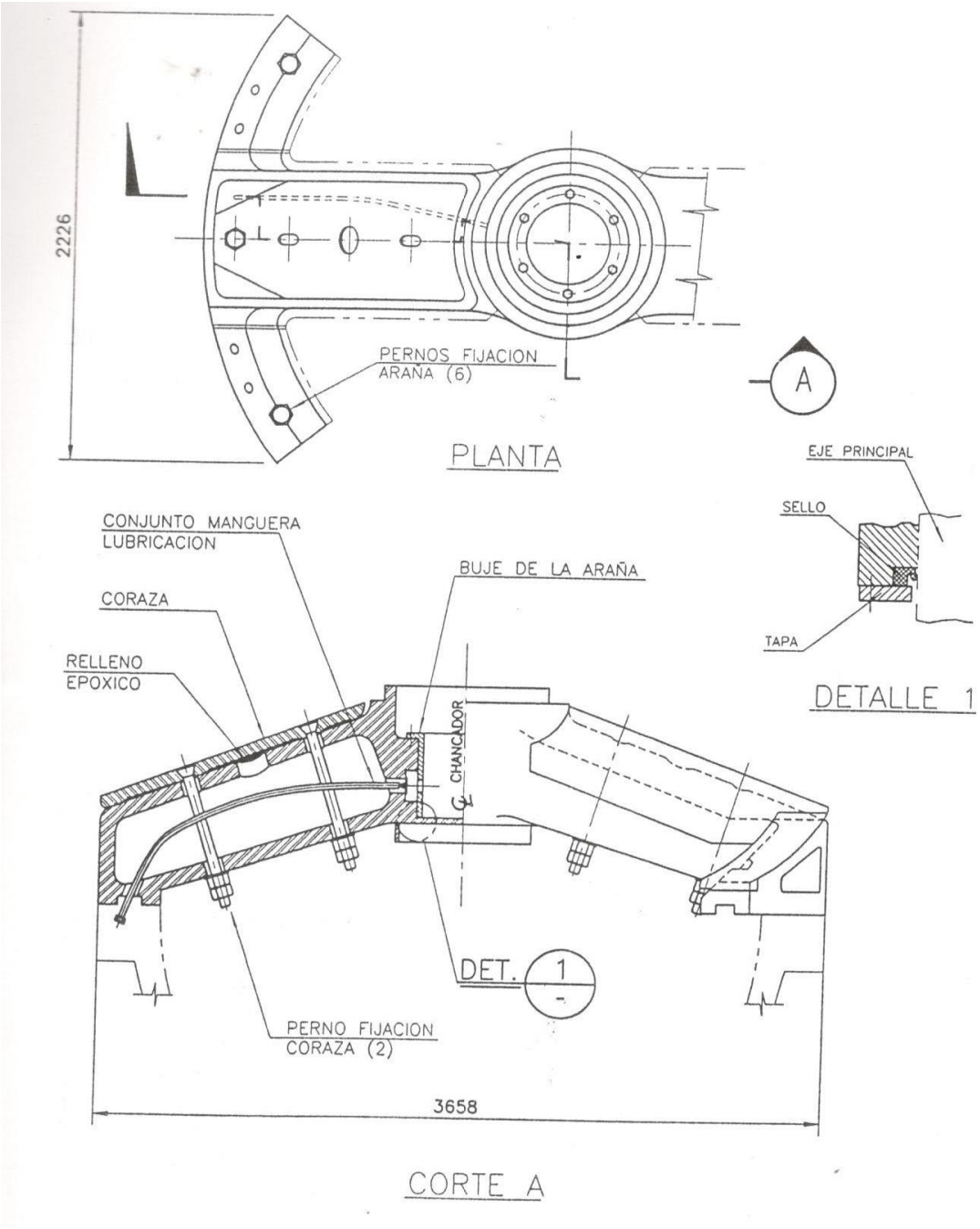


PLANTA

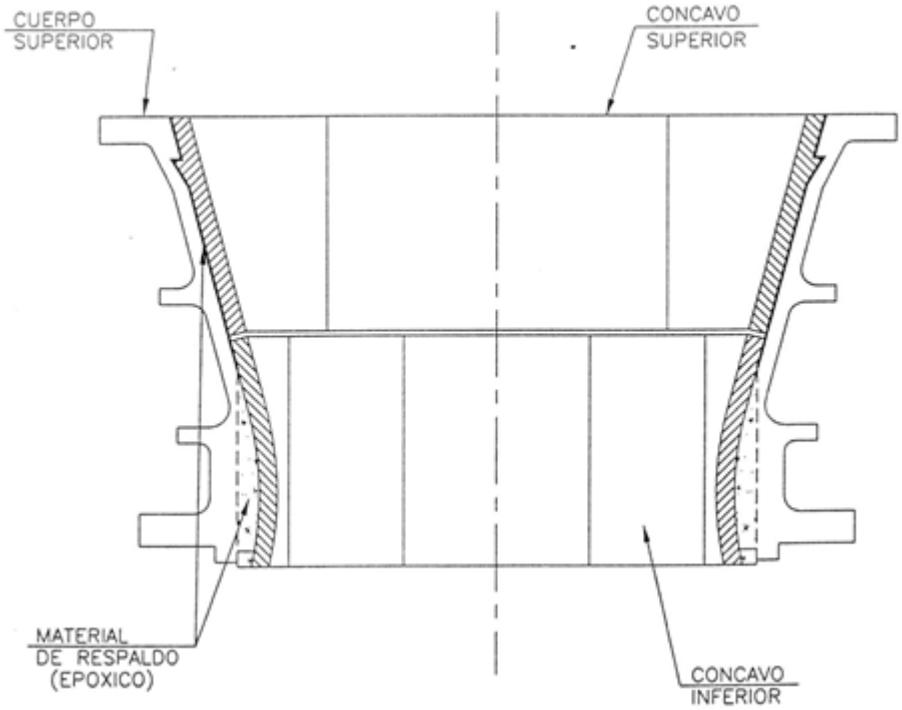
Anexo B: Detalle de las partes del poste del chancador.



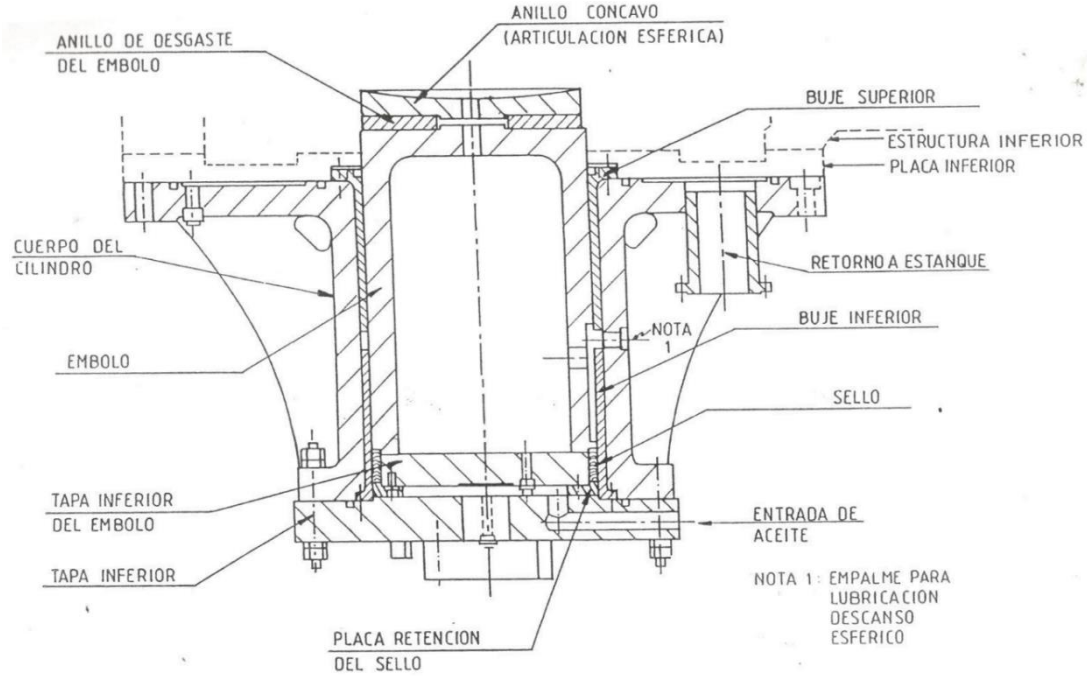
Anexo C: Detalle de conjunto de la araña del chancador.

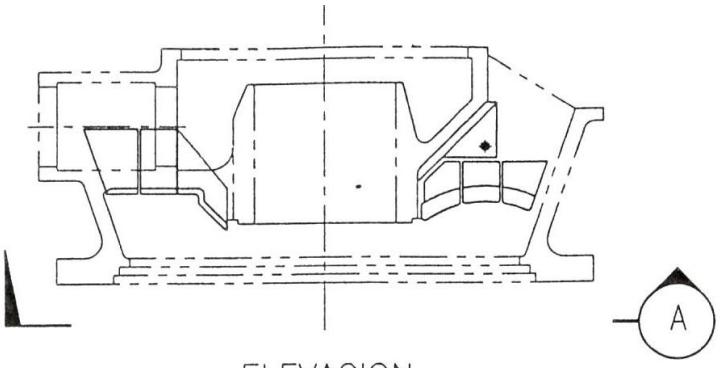


Anexo D: Detalle de cóncavas chancador giratorio.

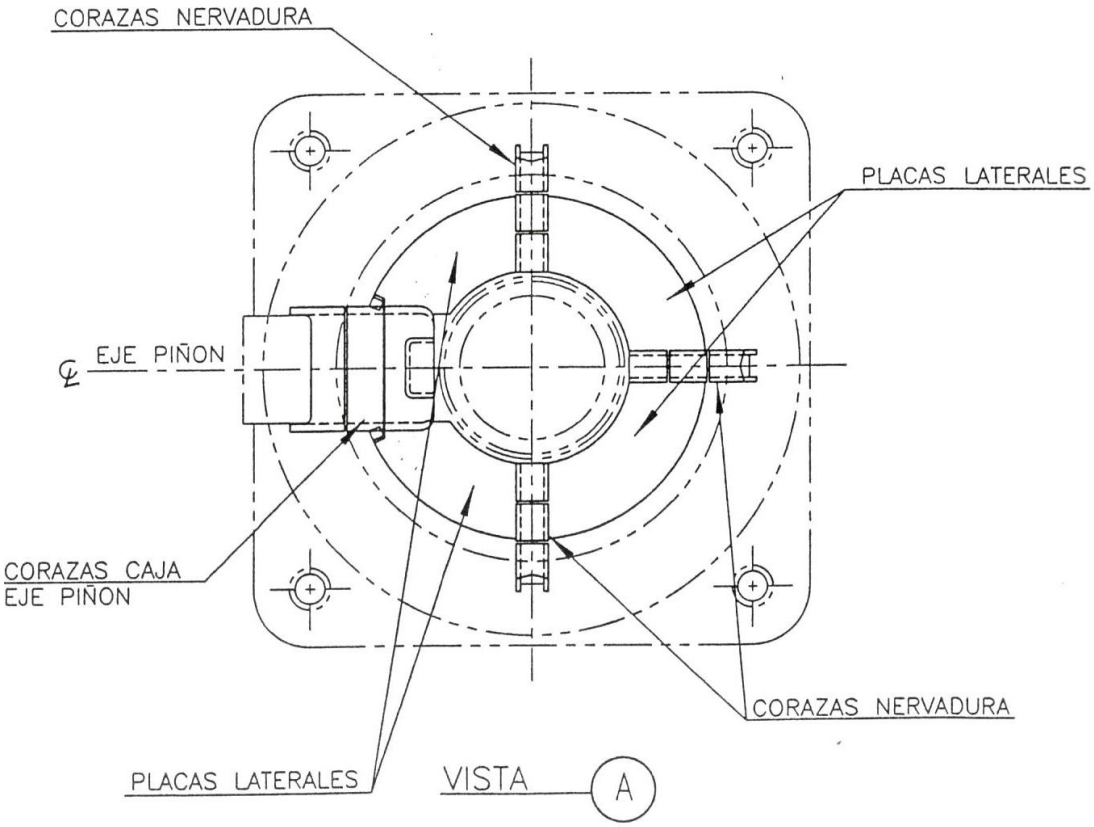


Anexo E: Cilindro Hidráulico sistema de ajuste.

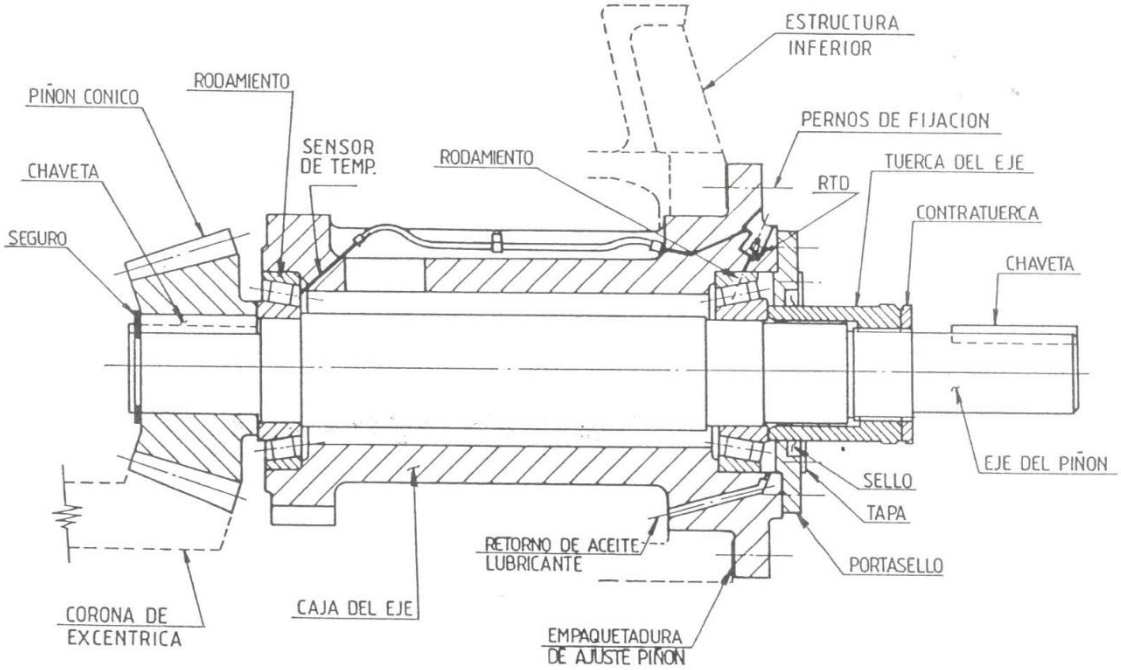



A

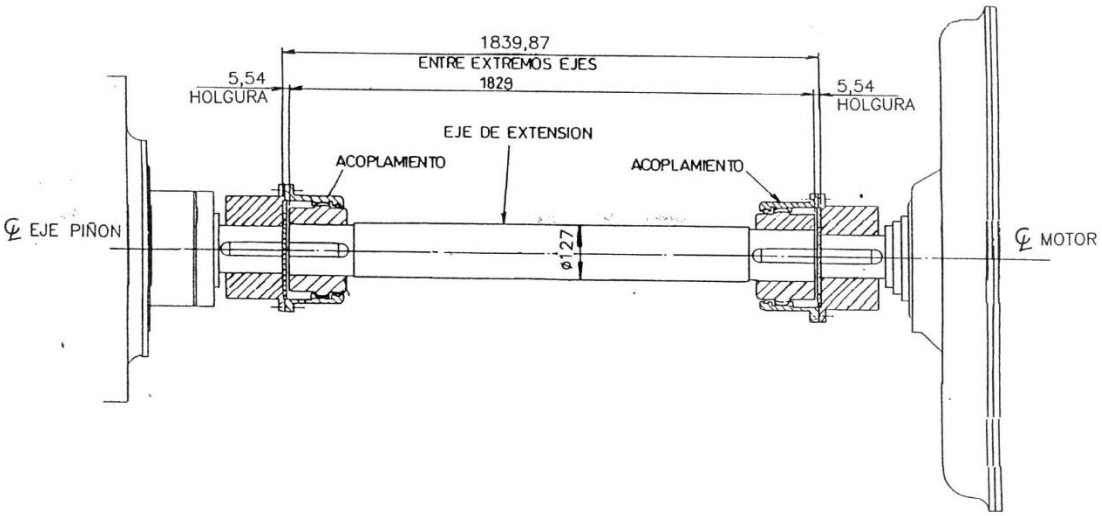
ELEVACION


CORAZAS NERVADURA
PLACAS LATERALES
℄ EJE PIÑON
CORAZAS CAJA
EJE PIÑON
CORAZAS NERVADURA
PLACAS LATERALES
VISTA
A

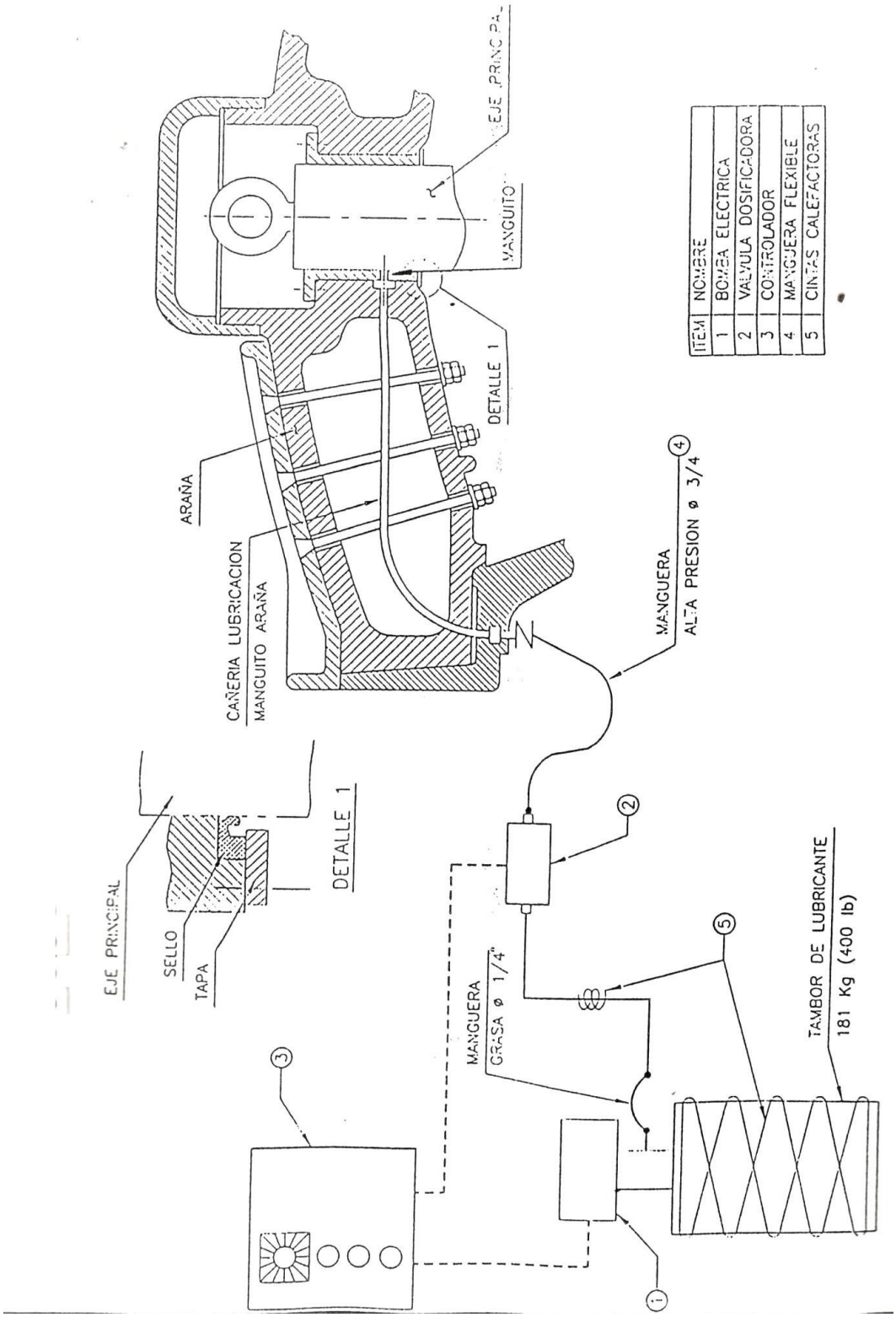
Anexo G: Conjunto Eje Piñón.



Anexo H: Conjunto Eje de extensión.



Anexo I: Sistema de lubricación de la araña.



Anexo J: Plantilla descomposición del Chancador Fuller.

EMPRESA		: Mantos Copper					
DEPARTAMENTO		: Mantención					
EQUIPO		: Chancador Fuller Traylor				Hoja	De
OPERACIÓN		: Mantoverde				1	5
Código	Nivel I	Código	Nivel II	Código	Nivel III	Código	Nivel IV
1	Chancador	1	Araña	1	Pieza Principal		
				2	Cono Central		
				3	Revestimientos (protección)		
				4	Buje Central		
				5	Manguera Grasa		
		2	Cuerpo	1	Carcasa Superior		
				2	Carcasa Inferior		
		3	Poste	1	Eje Principal		
				2	Núcleo cónico		
				3	Revestimiento Superior		
				4	Revestimiento Inferior		
				5	Elementos posicionadores		
				6	Sello contra polvo		

EMPRESA : Mantos Copper DEPARTAMENTO : Mantención EQUIPO : Chancador Fuller Traylor OPERACIÓN : Mantoverde						Hoja	De
						2	5
Código	Nivel I	Código	Nivel II	Código	Nivel III	Código	Nivel IV
1	Chancador	4	Conjunto Eje Piñón y Eje Extensión	1	Rodamientos		
				2	Eje		
				3	Piñón Cónico		
				4	Acoplamiento Flexible		
				5	Eje Extensión		
		5	Conjunto Excéntrica	1	Excéntrica		
				2	Buje del eje principal		
				3	Corona dentada		
				4	Conjunto Placa Inferior		
		6	Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste	1	Cilindro Hidráulico		
				2	Asiento esférico	1	Placa circular
						2	Placa cóncava
						3	Placa convexa

EMPRESA	: Mantos Copper						
DEPARTAMENTO	: Mantención						
EQUIPO	: Chancador Fuller Traylor					Hoja	De
OPERACIÓN	: Mantoverde					3	5
Código	Nivel I	Código	Nivel II	Código	Nivel III	Código	Nivel IV
1	Chancador	7	Revestimientos	1	Revestimiento Araña	1	Coraza del brazo
						2	Placa desg. Izquierdo
						3	placa desg. Derecho
						4	Casco Araña
				2	Cóncavos	1	Cóncavos Superior
						2	Cóncavos Inferior
				3	Revestimiento Cuerpo Inferior	1	Nervadura. Montura
						2	Caja Eje Piñón. Montura
						3	Engranaje. Placa Lateral
				4	Revestimiento del poste	1	Manto Superior
						2	Manto Inferior
		8	Sistema Lubricación del Chancador	1	Sistema Lubricación Central	1	Bomba de Tornillo
						2	Motor eléctrico
						3	Acoplamiento

EMPRESA	: Mantos Copper						
DEPARTAMENTO	: Mantención						
EQUIPO	: Chancador Fuller Traylor					Hoja	De
OPERACIÓN	: Mantoverde					4	5
Código	Nivel I	Código	Nivel II	Código	Nivel III	Código	Nivel IV
1	Chancador	8	Sistema Lubricación del Chancador	1	Sistema Lubricación Central	4	Termostato
						5	Intercambiador de calor
						6	Motor eléctrico
				2	Sistema Lubricación Araña	1	Bomba de grasa
						2	Válvula dosificadora
						3	Controlador
						4	Manguera Flexible
						5	Cintas calefactoras
		9	Unidad Hidráulica posicionamiento del poste	1	Estanque		
				2	Bomba de engranajes		
				3	Motor eléctrico		
				4	Calefactor eléctrico		
				5	Filtro de retorno		
				6	Filtro de succión		
				7	Manómetro		
				8	Termómetro		

EMPRESA		: Mantos Copper					
DEPARTAMENTO		: Mantención					
EQUIPO		: Chancador Fuller Traylor				Hoja	De
OPERACIÓN		: Mantoverde				5	5
Código	Nivel I	Código	Nivel II	Código	Nivel III	Código	Nivel IV
1	Chancador	10	Sistema Sellado de Polvo	1	Soplador		
				2	Motor Eléctrico		
				3	Acoplamiento		
				4	Filtro de entrada		
				5	Base		
		11	Carro Extracción Excéntrica	1	Carro Extracción Excéntrica		
		12	Sistema Eléctrico	1	Motor Eléctrico		

Anexo K: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Araña).

Subsistema: Araña			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.1.1	1	Sueltan pernos, se cae coraza	2	Detención	-	Reapriete de pernos	0,5	1
1.1.2	1	-	-	-	-	-		-
1.1.3	6	Desgaste	2	Detención	-	Cambio de Revestimientos	5	10
1.1.4	1	Desgaste por fricción	2	Detención	-	Se cambia la araña completa	5	10
1.1.5	1	-		-	-			0

Subsistema: Araña			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.1.1	2	2	Pernos sueltos	Impacto de material va soltando los pernos.	Ruido y Vibración	
1.1.2	-	-	-	-	-	
1.1.3	2	20	Desgaste	Abrasión	Vibración	
1.1.4	2	20	Desgaste	Eje no alineado	Inclinación del poste	
1.1.5	-	-				

Anexo L: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Cuerpo del Chancador).

Subsistema: Cuerpo			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.2.1	1	No se registra falla	-	-	-			
1.2.2	1	No se registra falla	-	-	-			

Subsistema: Cuerpo			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.2.1	-		-			
1.2.2	-		-			

Anexo M: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Poste).

Subsistema: Poste			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.3.1	1	Eje no gira	0,1	Detención del Chancador	-	Desmontar eje principal y excéntrica	36	3,6
		Eje no gira	10	Detención del Chancador	-	Revisar sistema eléctrico	1	10

		Eje gira muy rápido, o con régimen excéntrico	0	Detención del Chancador	-	Parar y desmontar el eje (poste), revisar y cambiar bujes	0	0
1.3.2	1	-						0
1.3.3	1	Mantos sueltos (Superior o Inferior)	1	Detención del Chancador	-	Compruebe el apriete del manto de vez en cuando cortando la alimentación de manera que la cámara de chancado pueda ser observada. Mientras se tritura la última parte de la carga, observe la unión entre la tuerca principal y el manto. Si el manto esta flojo, habrá movimiento en la unión. En algunos casos estas dificultades pueden ser eliminadas utilizando mantos especiales.	12	12
1.3.4	1				-		12	12
1.3.5	2	Tuerca de cabeza suelta	1	Detención del Chancador		Reparar o reinstalar	1	1
1.3.6	2	Sellos dañados	1	Detención del Chancador			1	1

Subsistema: Poste			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.3.1	3	10,8	Mal funcionamiento del eje	Gripaje entre eje principal y buje excéntrico		
	1	10	Mal funcionamiento del eje	Problemas en sistema eléctrico		
	-	-	Mal funcionamiento del eje	Gripaje en portacojinetes de collar		
1.3.2	-	-				
1.3.3	2	24	Desgaste	Oscilación del manto en el centro del poste, causada por elongación del manto debido al duro trabajo en áreas localizadas.	Se observa oscilación del manto. Vibración Excesiva	
1.3.4	2	24	Desgaste			
1.3.5	1	1	Tuerca de cabeza suelta.	Mala instalación en mantención. Cordones de soldadura defectuosos.		
1.3.6			Filtración de aceite al exterior	Dañados por exceso de calor		

Anexo N: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Eje piñón y Eje de extensión).

Subsistema: Conjunto Eje piñón y Eje de extensión			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.4.1	2	Soltura mecánica	2	Detención	-	Cambio de rodamientos	8	16
	2	Contaminación	2	Detención	-	Cambio de rodamientos	8	16
1.4.2	1	Eje dañado	1	Detención		Cambio de eje	3	3
1.4.3	1	No hay registro	-					0
1.4.4	1	No hay registro	-					0
1.4.5	1	Corte de eje	0,2	Detención	-	Cambio de eje de extensión	4	0,8

Subsistema: Conjunto Eje piñón y Eje de extensión			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.4.1	1	16	Desgaste y daño en la jaula	Vibración		
	1	16	Desgaste causado por partículas abrasivas	Filtros no retienen partículas contaminantes		
1.4.2	1	3				
1.4.3	-	-				
1.4.4	-	-				
1.4.5	2	1,6		Falta de lubricación en Acoplamiento		

Anexo O: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Excéntrica).

Subsistema: Conjunto Excéntrica			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.5.1	1	Atascamiento de la Excéntrica	No se ha registrado	Detención de Chancador		Cambiar la placa de desgaste de la excéntrica		
1.5.2	1	Buje quemado o quebrado	No se ha registrado	Detención de Chancador		Cambiar filtro, controlar niveles de aceite.		
1.5.3	1	Ruido en el conjunto Piñón Corona	No se ha registrado	Detención de Chancador				
1.5.4	1	-	-					

Subsistema: Conjunto Excéntrica			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.5.1	-	-	Manto de trituración girará a la velocidad de la excéntrica, no se podrá levantar ni bajar completamente con el cilindro de ajuste, aún con la cámara vacía.	Adhesión entre eje y el buje de la excéntrica		
1.5.2	-	-	Aumento de desgaste en el buje	Aceite sucio, filtro de aceite tapado, sello no funciona.	Aumento de Temperatura	
1.5.3	-	-	Desgaste excesivo en los dientes del piñón.	Espesor inadecuado de la empaquetadura entre el cuerpo inferior y la placa inferior, menor al juego del diseño.		
1.5.4						

Anexo P: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste).

Subsistema: Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste (Hydroset)			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	Número de elementos	Tipo de falla subconjunto	Frecuencia (veces/año)	Efecto sobre la maquina	Efecto sobre el producto	Reparación provisoria	Tiempo de detención (horas)	Indisponibilidad (horas/año)
1.6.1	1	El chancador no mantiene ajuste	1	Detención del chancador	Mala calidad del mineral	Controlar tubos de aceite, nivel de aceite, limpiar o cambiar válvulas	2	2
1.6.2	1		No hay registro					

Subsistema: Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste (Hydroset)			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.6.1	2	4	Perdida de aceite	Fuga de aceite, Válvula solenoide gotea, aire en el sistema, sello de aceite Hydroset	Detección por instrumentos (Indican que el poste está bajo lo normal)	
1.6.2	-	-	-			

Anexo Q: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Revestimientos).

Subsistema: Revestimientos			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.7.1	6	Desgaste	2	Detención	-	Cambio de Revestimientos	5	10
1.7.2	16	Desgaste	0,67	Detención	-	Cambio de Cóncavas	36	24
1.7.3	9	Desgaste	1	Detención	-	Cambio de placa de Revestimiento	2	2
1.7.4	2	Desgaste	1	Detención	-	Cambio de Poste	12	12

Subsistema: Revestimientos			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.7.1	1	10	Desgaste	Impacto de material en corazas de la araña.	Desgaste o grietas	
1.7.2	1	24	Desgaste	Impacto de material y desgaste por trituración de material	Desgaste o grietas	
1.7.3	1	2	Desgaste	Abrasión o impacto de material.		
1.7.4	1	12	Desgaste	Impacto de material y desgaste por trituración de material		

Anexo R: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Sistema de Lubricación del Chancador).

Subsistema: Sistema Lubricación del Chancador			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	**Número de elementos**	**Tipo de falla subconjunto**	**Frecuencia (veces/año)**	**Efecto sobre la maquina**	**Efecto sobre el producto**	**Reparación provisoria**	**Tiempo de detención (horas)**	**Indisponibilidad (horas/año)**
1.8.1	1	Bomba opera pero no hay impulsión de aceite.	No hay registro	Detención	-	Reponer, tambor con lubricante, purgar cañerías	-	-
			No hay registro	Detención	-	Cambie conexiones eléctricas. La dirección de giro se indica en la unidad de potencia	-	-
			No hay registro	Detención	-	Revise, remueva y limpie la válvula con solventes.	-	-
			No hay registro	Detención	-	Use tamaño más pequeño de tambor, el solvente se evapora provocando la solidificación del	-	-
		Bomba opera continuamente pero flujo de grasa es irregular	No hay registro	Detención	-	Remueva canastillo inferior, válvula de pie, tubo de aceite y pistón. Efectúe lavado con solvente limpio y soplado de las partes con aire comprimido. Examine asientos de válvulas para detectar daños u otros objetos	-	-

						obstaculizantes.		
1.8.2	1	Bomba hidráulica opera con ruido y vibración	No hay registro	Detención	-	Llene con aceite de viscosidad entre 200 y 250 @ 38 °C.	-	-
		Bomba opera en baja presión	No hay registro	Detención	-	Use aceite especificado.	-	
			No hay registro	Detención	-	inspeccione la línea para detectar fugas reparando la línea.	-	-
			No hay registro	Detención	-	Corrija ajuste según instrucciones del manual de servicio.	-	-
			No hay registro	Detención	-	Repare o reemplace los elementos defectuosos.	-	-
		Bomba opera en alta presión	No hay registro	Detención	-	Reemplace tambor con grasa apropiada.	-	-
			No hay registro	Detención	-	Revise líneas de conducción de grasa, ensayando línea desconectado de alimentación equipo.	-	-

Subsistema: Sistema Lubricación del Chancador			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.8.1			No hay impulsión de aceite	Tambor de lubricante vacío		
			No hay impulsión de aceite	Rotación del motor eléctrico de la unidad de potencia es erróneo.		
			No hay impulsión de aceite	Válvula de alivio de la unidad de potencia abierta.		
			No hay impulsión de aceite	El lubricante se ha solidificado		
			Flujo de aceite irregular	Material extraño en asiento válvula, de retención del pistón de la bomba o válvula de pie		
1.8.2			Ruido y Vibración	Nivel bajo de aceite en estanque unidad de potencia.		
			Baja Presión	Viscosidad aceite unidad de potencia baja		
				Línea de grasa rota o con fuga.		
				Interruptor de presión desajustado aliviando en baja presión prematuramente.		
				Válvula de retención y/o válvula, de pie se mantienen precisamente abierta.		
			Alta Presión	Grasa muy viscosa		
				Línea parcialmente obstruida o buje obstruido		

Anexo S: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Unidad Hidráulica posicionamiento del poste).

Subsistema: Unidad Hidráulica posicionamiento del poste			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	Número de elementos	Tipo de falla subconjunto	Frecuencia (veces/año)	Efecto sobre la maquina	Efecto sobre el producto	Reparación provisoria	Tiempo de detención (horas)	Indisponibilidad (horas/año)
1.9.1	1	Derrame	0,2	Detención	-	Reparar estanque. Controlar derrame de aceite	6	1,2
1.9.2	1	Bomba con ruido	No hay registro	-	-	Agregar aceite al estanque		
			No hay registro	-	-	Remover la tubería y limpiar la obstrucción. Si la restricción es debida a daño, reemplazar la tubería.		
			No hay registro	-	-	Revisar la condición del filtro observando el indicador de presión diferencial. Cambiar el filtro si es necesario.		
1.9.3	1	Falla Motor Eléctrico	No hay registro	-	-	Inspeccione y verifique conexiones y apriete contactos.		
1.9.4	1	No hay registro	No hay registro					
1.9.5	1	No hay registro	No hay registro					
1.9.6	1	No hay registro	No hay registro					
1.9.7	1	Chancador no mantiene ajuste	1	Detención	Mala calidad de mineral	Comprobar estado de líneas, cambiar sellos o válvulas.	2	2

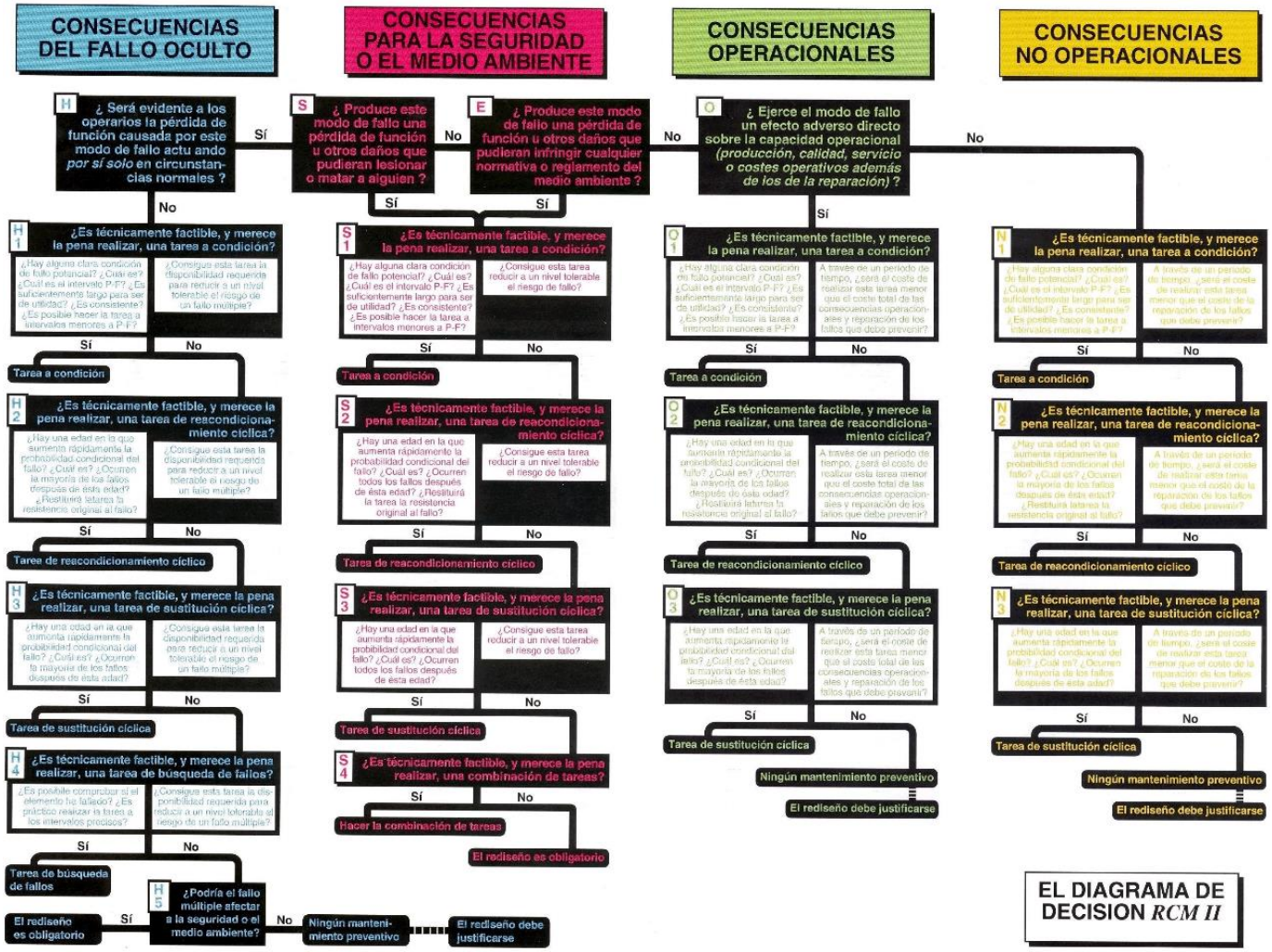
Subsistema: Unidad Hidráulica posicionamiento del poste			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	**Criticidad del proceso**	**Índice de criticidad**	**Tipo de falla componente**	**Causa de falla componente**	**Síntomas observables**	**Síntomas externos**
1.9.1	4	4,8	Falla en válvula	Mala operación de válvula por parte de mantenedores.	Fuga de aceite.	
1.9.2			Cavitación	Nivel de aceite en el estanque muy bajo.	Ruido	
			Cavitación	Obstrucción en la línea de entrada a la bomba.	Ruido	
			Cavitación	Filtros bloqueados o restringidos.	Ruido	
1.9.3			Motor eléctrico no parte	Conexiones eléctricas defectuosas o sueltas. Bajo voltaje		
1.9.4	-	-	-			
1.9.5	-	-	-			
1.9.6	-	-	-			
1.9.7	3	24	Falla Válvula Solenoide	La válvula solenoide filtra haciendo que la bomba del sistema de ajuste gire en reversa.	Fugas de aceite	

Anexo T: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (Subsistema: Sistema Eléctrico).

Subsistema: Sistema Eléctrico			**Individualización de los modos de falla y cuantificación de la criticidad y sus efectos**					
Código	Número de elementos	Tipo de falla subconjunto	Frecuencia (veces/año)	Efecto sobre la maquina	Efecto sobre el producto	Reparación provisoria	Tiempo de detención (horas)	Indisponibilidad (horas/año)
1.12.1	1	Motor no funciona	30	Detención	-	Eléctricos de turno revisan el equipo, lo reparan y lo ponen en marcha nuevamente.	0,25	7,5
	1	Motor no funciona	30	Detención	-	Eléctricos de turno revisan el equipo, lo reparan y lo ponen en marcha nuevamente.	0,25	7,5
	1	Motor no funciona	12	Detención	-	Eléctricos de turno revisan el equipo, lo reparan y lo ponen en marcha nuevamente.	1	12

Subsistema: Sistema Eléctrico			**Análisis de la causa de falla e individualización del componente crítico**			
Código	Criticidad del proceso	Índice de criticidad	Tipo de falla componente	Causa de falla componente	Síntomas observables	Síntomas externos
1.12.1	2	15	Desbalance de fases del motor.	Desbalance de Fases, debido a la sobrecarga del motor. Vibraciones y sobresfuerzo.		
	2	15	Sobre corriente en el motor.	Sobre carga del motor, debido a material inchancable en el chancador.		
	2	24	Fallas de aislación	Humedad en el ambiente, lo que afecta al motor y este se detiene debido a su sistema de protección.		

Anexo U: Diagrama de decisión RCM2. Fuente: (Moubray, 2000)



Anexo V: Matriz de Criticidad.

Frecuencia	***5***	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		5	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***	***13***	***14***	***15***	***16***	***17***	***18***	***19***	***20***	***21***	***22***	***23***	***24***	***25***
		Impacto																				

(B)	***Criticidad Baja***	***5 ≤ Criticidad ≤ 29***
(M)	***Criticidad Media***	***30 ≤ Criticidad ≤ 49***
(A)	***Criticidad Alta***	***50 ≤ Criticidad ≤ 125***

Anexo W: Resultados de análisis de criticidad para el área de chancado, operación Mantoverde.

Ítem	Código	Equipo	Fr	Daños al personal	Fr	Impacto ambiental	Fr	Impacto producción	Fr	Costo de Reparación	Fr	Tiempo promedio de falla	Total	Criticidad
1	CHP-010	Chancador Primario	1	1	2	3	5	5	3	5	2	5	57	Alta
2	PR-10	Pica rocas	1	1	1	1	2	1	3	1	3	2	13	Baja
3	CHS-010	Chancador Secundario	1	1	1	2	5	3	2	4	2	5	36	Media
4	CHT-010	Chancador terciario 10	1	1	1	2	4	2	2	4	2	3	25	Baja
5	CHT-020	Chancador terciario 20	1	1	1	2	4	2	2	4	2	3	25	Baja
6	CHT-030	Chancador terciario 30	1	1	1	2	4	2	2	4	2	3	25	Baja
7	CT-10	Correa Transportadora CT-10	1	1	1	1	3	5	2	5	2	3	33	Media
8	CT-20	Correa Transportadora CT-20	1	1	1	1	3	5	2	5	2	3	33	Media
9	CT-30	Correa Transportadora CT-30	1	1	1	1	2	5	2	5	2	3	28	Baja
10	CT-40	Correa Transportadora CT-40	1	1	1	1	2	5	2	3	2	3	24	Baja
11	CT-50	Correa Transportadora CT-50	1	1	1	1	2	5	2	5	2	3	28	Baja
12	CT-60	Correa Transportadora CT-60	1	1	1	1	2	5	2	5	2	3	28	Baja
13	CT-70	Correa Transportadora CT-70	1	1	1	1	2	5	2	5	2	3	28	Baja
14	CT-80	Correa Transportadora CT-80	1	1	1	1	2	3	2	3	2	3	20	Baja
15	CT-90	Correa Transportadora CT-90	1	1	1	1	2	3	2	3	2	3	20	Baja
16	CA-10	Alimentador 10	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	14	Baja

17	CA-20	Alimentador 20	1	1	1	1	2	1	2	3	2	3	16	Baja
18	CA-30	Alimentador 30	1	1	1	1	2	1	2	3	2	3	16	Baja
19	CA-40	Alimentador 40	1	1	1	1	2	1	2	3	2	3	16	Baja
20	CA-50	Alimentador 50	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	14	Baja
21	CA-60	Alimentador 60	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	14	Baja
22	CA-70	Alimentador 70	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	14	Baja
23	CA-80	Alimentador 80	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	14	Baja
24	CA-90	Alimentador 90	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	14	Baja
25	CA-100	Alimentador 100	1	1	1	1	2	1	2	3	2	3	16	Baja
26	CA-110	Alimentador 110	1	1	1	1	2	1	2	3	2	3	16	Baja
27	HA-010	Harnero Scalper	1	2	1	2	3	3	3	5	2	5	38	Media
28	HA-020	Harnero 020	1	1	1	2	3	1	3	4	2	4	26	Baja
29	HA-030	Harnero 030	1	1	1	2	3	1	3	4	2	4	26	Baja
30	HA-040	Harnero 040	1	1	1	2	3	1	3	4	2	4	26	Baja
31	HA-050	Harnero 050	1	1	1	2	3	1	3	4	2	4	26	Baja
32	TR-10	Tripper 10	1	1	1	1	2	5	2	4	2	3	26	Baja
33	TR-20	Tripper 20	1	1	1	1	2	5	2	4	2	3	26	Baja
34	AGLO-010	Tambor Aglomerador 10	1	2	1	4	2	3	2	5	2	5	32	Media
35	AGLO-020	Tambor Aglomerador 20	1	2	1	4	2	3	2	5	2	5	32	Media

Anexo X: Resultados del análisis de criticidad para los componentes del Chancador.

Ítem	Subsistema	Componente	Código	Fr	Daños al personal	Fr	Impacto ambiental	Fr	Impacto producción	Fr	Costo de Reparación	Fr	Tiempo promedio de falla	Total	Criticidad total por Subistema
1	Araña	Pieza Principal	1.1.1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	16	58
2		Cono Central	1.1.2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	8	
3		Revestimientos (protección)	1.1.3	1	1	1	1	3	2	2	2	3	2	18	
4		Buje Central	1.1.4	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	10	
5		Manguera Grasa	1.1.5	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	6	
6	Cuerpo	Carcasa superior	1.2.1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	9	18
7		Carcasa Inferior	1.2.2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	9	
8	Poste	Eje Principal	1.3.1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	4	16	108
9		Núcleo cónico	1.3.2	1	1	1	1	2	5	2	4	2	4	28	
10		Mantos	1.3.3	2	1	1	1	3	5	3	5	3	5	48	
12		Tuerca de cabeza	1.3.5	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	
13		Sello contra polvo	1.3.6	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	
14	Conjunto Eje Piñón y Eje Extensión	Rodamientos	1.4.1	2	1	1	1	3	3	3	3	3	2	27	99
15		Eje	1.4.2	2	1	1	1	2	3	2	3	2	2	19	
16		Piñón Cónico	1.4.3	2	1	1	1	2	3	2	3	2	2	19	
17		Acoplamientos	1.4.4	1	1	1	1	3	3	3	2	3	1	20	
18		Eje extensión	1.4.5	1	1	1	1	2	3	2	2	2	1	14	
19		Excéntrica	1.5.1	1	1	1	1	2	5	2	3	2	3	24	96

20	Conjunto Excéntrica	Buje del eje principal	1.5.2	1	1	1	1	2	5	2	3	2	3	24	
21		Corona dentada	1.5.3	1	1	1	1	2	5	2	3	2	3	24	
22		Conjunto Placa	1.5.4	1	1	1	1	2	5	2	3	2	3	24	
23	Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste	Cilindro Hidráulico	1.6.1	1	1	2	2	2	3	2	3	2	3	23	43
24		Asiento esférico	1.6.2	1	1	1	1	2	3	2	3	2	3	20	
26	Revestimientos	Cóncavas	1.7.2	2	1	1	1	2	5	2	5	2	5	33	33
29	Sistema Lubricación Central	Bomba de tornillo	1.8.1.1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	52
30		Motor eléctrico	1.8.1.2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	
31		Acoplamiento	1.8.1.3	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	
32		Termostato	1.8.1.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
33		Estanque	1.8.1.5	1	1	2	2	3	3	3	1	3	2	23	
34	Sistema de Lubricación Araña	Bomba de grasa	1.8.2.1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	31
35		Válvula dosificadora	1.8.2.2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	
36		Controlador	1.8.2.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
37		Manguera Flexible	1.8.2.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
38		Cintas Calefactoras	1.8.2.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
39	Unidad Hidráulica posicionamiento del poste	Estanque	1.9.1	1	1	2	2	2	3	2	1	2	1	15	48
40		Bomba de Engranaje	1.9.2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	10	
41		Motor eléctrico	1.9.3	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	
42		Calefactor eléctrico	1.9.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	

43		Filtro de retorno	1.9.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
44		Filtro de succión	1.9.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
45	Sistema sellado de polvo	Soplador	1.10.1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	8	28
46		Motor eléctrico	1.10.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
47		Acoplamiento	1.10.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
48		Filtro de entrada	1.10.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
49		Base	1.10.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	
50	Carro Extracción Excéntrica	Carro Extracción Excéntrica	1.11.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5
51	Sistema Eléctrico	Motor eléctrico	1.12.1	1	1	1	1	5	2	5	1	5	1	22	22