

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



**“CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES EN LA
APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE
MANTENIMIENTO PARA EL USO RESPONSABLE EN
EL MANEJO DE SUMINISTROS E INSUMOS”**

AARÓN HERNÁN GONZÁLEZ SOTO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA:
PROFESOR CORREFERENTE:

ING. LUIS GUZMÁN BONET
DR. ING. JAIME NÚÑEZ SEGOVIA

DICIEMBRE - 2018

RESUMEN

El objetivo de la investigación es la generación de una mejora en el plan de mantenimiento junto con la entregar consideraciones medioambientales para un manejo responsable tanto de los insumos como de los desechos relacionados con el área, estas acciones se traducen en cambios, adiciones o complementos del programa de mantenimiento original según dos tendencias estratégicas claves para asegurar la responsabilidad ambiental, una de ellas, el mantenimiento Lean que busca optimizar los procesos, potenciar la generación de valor y eliminar lo que no agregue. Por otro lado, está el mantenimiento Green el cual tiene como principal objetivo mejorar los índices.

Para establecer estas estrategias, se debe seleccionar entre un sistema, proceso o equipo al cual se le aplicará al mantenimiento con posibilidad de mejora; para este caso se utiliza un equipo del rubro minero, en específico un chancador primario, el activo es identificado como un chancador giratorio de cono de 60"x 113" de la empresa proveedora de equipos y servicios mineros FLSmidth S.A. Se le realiza una descripción completa de sus funciones y partes. Se aplica un análisis de criticidad de sus componentes con foco en la operación y medioambiente.

Se recopilan datos de mal funcionamiento para llevar a cabo el análisis, donde se profundiza en la gestión de fallas y se establecerán planes de acción para solucionar estos puntos y recuperar prontamente la funcionabilidad del equipo. Para dar paso al análisis del mantenimiento actual tanto establecido por parte de las industrias, fabricantes y los servicios que estos entregan.

Finalmente, se presenta una propuesta de plan de mantenimiento con frecuencias diarias, semanales, mensuales, anuales y mayores, esto agrega valor al proceso. Por parte del manejo de insumos y desechos catalogados como críticos, se proponen tratamientos sobre ellos, como programas de lubricación o criterios de remplazo, además, de propuestas de ampliación de los servicios entregados por el proveedor del equipo de chancado y terminando con la evaluación de las propuestas en el contexto operacional, medioambiental y de seguridad.

ABSTRACT

The objective of the research is the generation an improvement in the maintenance plan together with the presentation of environmental considerations for a responsible management of supplies and waste related to the area, these actions are translated into changes, additions or complements of the original maintenance program, according to two key strategic trends to ensure environmental responsibility, one of them, Lean maintenance that seeks to optimize processes, maximize the generation of value and eliminate what does not. Besides, is the Green maintenance, which has as main objective improve environmental indicators by providing tools for the treatment of inputs and waste.

To base these strategies, must be selected between a system, process or equipment to which maintenance will be applied with the possibility of improvement; for this case a mining equipment is used, specifically a primary crusher, the asset is identified as 60 "x 113" gyratory cone crusher from the mining services and equipment company FLSmidth S.A. to this equipment is given a complete description of functions, also its parts. A criticality analysis of its components is applied, focusing on the operation and the environment, to establish them as a priority along with their inputs and waste.

Malfunction data are collected to realize the analysis, where the management of faults is deepened and action plans will be established to solve these points and quickly recover the functionality of the equipment. To give way to the analysis of the current maintenance established in general by the mining industries and those established by their manufacturers and the services that they give.

Finally, the work seeks to present a proposals for preventive maintenance plans for the operations personnel and maintenance department with daily, weekly, monthly, annual and major frequencies, this in order to add value to the process under the concepts of the selected strategy and by part of the management of inputs and wastes cataloged as critical, treatments are proposed, such as lubrication programs or replacement criteria, as well as proposals for extending the services given by the supplier of the crushing equipment and ending with the evaluation of the proposals in the operational, environmental and security context.

GLOSARIO

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

Atascado / Atollo: Condición en que el chancador se detiene con mineral en la cámara.

Conminución: Es el término general utilizado para indicar la reducción de tamaño de un material y que puede ser aplicado sin importar el mecanismo de fractura involucrado.

CSS: Abreviatura de *ajuste del lado cerrado*. Se refiere a la relación estrecha del fondo del manto inferior con la unión más baja de los cóncavos para un ajuste establecido del eje principal.

Excéntrico: La parte del conjunto del chancador que produce el efecto giratorio del eje principal.

FMECA: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

TOC: Theory of constraints, referente al paradigma de limitación de producción.

Six Sigma: Metodología de mejora de procesos centrada en la reducción de la variabilidad, reducir o eliminar los defectos o fallos en la entrega de un producto o servicio al cliente.

Just in time: Política de mantenimiento de inventarios al mínimo nivel posible donde los suministradores entregan justo lo necesario en el momento necesario para completar el proceso productivo.

TQM: Total Quality Management, es una estrategia de gestión orientada a crear conciencia de calidad en todos los procesos de organización.

Manto / Cóncava: Pieza de desgaste. Generalmente, está hecha de acero al manganeso.

Piñón: Engranaje montado en el extremo del contra-eje. Transmite la fuerza motriz del motor principal al excéntrico.

ROM: Como sale de la mina - Run-of-Mine (mineral). Mineral tal como se entrega desde la mina antes de someterlo a chancado o proceso.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
GLOSARIO	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	xii
OBJETIVOS	xv
Objetivo general:	xv
Objetivos específicos:	xv
1. Marco teórico	16
1.1 Conceptos generales	16
1.2 Conceptos de gestión ambiental	17
1.3 Conceptos de mantenimiento	19
1.4 Conceptos de criticidad por modo de falla	22
1.5 Conceptos del área trabajada	24
1.6 Estructura de trabajo	25
2. Mantenimiento esbelto y de enfoque en la responsabilidad ambiental	27
2.1 Guía de acción para el mantenimiento Lean	27
2.2 Manejo de insumos y desechos	32
2.2.1 Referencia estratégica (¿por qué?)	33
2.2.2 Referencia técnica (¿Cómo?)	36
2.3 Integración de Lean y Green en el mantenimiento	37
2.3.1 Integración de los paradigmas	40
3. Descripción del área de chancado primario y equipo objetivo	44
3.1 Chancador Giratorio	45
3.1.1 Descripción técnica	45
3.1.2 Descripción del chancador	48
3.1.3 Característica del equipo	60

3.1.4	Sistema de lubricación y enfriamiento	63
3.1.5	Sistema de lubricación del cojinete de la araña	65
3.1.6	Sistema de ajuste hidráulico	66
3.1.7	Sistemas de indicación de posición del manto y complementarios.....	68
4.	Operación y análisis de criticidad del equipo	73
4.1	Operación.....	73
4.1.1	Operación local.....	74
4.1.2	Operación remota	75
4.1.3	Operación de mantención	75
4.2	Criticidad del equipo.....	75
4.2.1	Evaluación de método utilizado	75
4.2.2	Definición de nivel de análisis	76
4.2.3	Definición de criticidad	77
4.2.4	Calculo de nivel de criticidad	80
4.3	Análisis modo de falla	81
4.4	Gestión de fallas.....	87
4.4.1	Propuesta de soluciones a fallas	90
4.5	Análisis de problemas del proceso.....	92
5.	Descripción de plan de mantenimiento actual y manejo de insumos	96
5.1	Monitoreo de desgaste y defectos	97
5.2	Muestreo de contaminación de aceite	99
5.2.1	Desechos de fabricación, transporte y almacenamiento	99
5.2.2	Residuos en tuberías	100
5.2.3	Humedad.....	100
5.2.4	Partículas de suciedad.....	100
5.2.5	Partículas de desgaste	101
5.3	Análisis de vibraciones	103
5.4	Criterio de remplazo de elementos	103
5.5	Procedimientos de desinstalación y cambio	104
5.6	Mantenimiento preventivo instrumental.....	106
6.	Propuesta de plan de mantenimiento y mejoras	109
6.1	Plan mejorado de mantenimiento	109

6.2	Programa de recambio de secciones revestidas	113
6.2.1	Superficies protectoras	113
6.2.2	Superficies del chancador	113
6.2.3	Cambio de cóncavas	113
6.3	Programa de lubricación	115
6.3.1	Disposición de residuos	119
6.3.2	Frecuencia de toma de muestra de aceite	120
6.4	Equipos y herramientas de mantenimiento	122
6.5	Ampliación de cobertura de servicio	123
6.5.1	Registro de parámetros de operación	123
6.5.2	Rompe-rocas	124
6.5.3	Supresores de polvo	126
7.	Validación de mejoras	128
7.1	Validación de planes y programas	128
7.2	Beneficios de cambio de cóncavas	129
7.3	Procedimientos de trabajo seguro	131
CONCLUSIONES		133
BIBLIOGRAFÍA		135
ANEXO		138
Anexo 1: Listado de causas de fallas chancador primario		138
Anexo 2: Listado de soluciones estándar de fallas chancador primario		141
Anexo 3: Criterio de remplazo de piezas chancador		146
Anexo 4: Programa de mantenimiento preventivo diario		148
Anexo 5: Programa de mantenimiento preventivo semanal		152
Anexo 6: Programa de mantenimiento preventivo mensual		153
Anexo 7: Programa de mantenimiento preventivo anual		156
Anexo 8: Programa de mantenimiento preventivo mayor		159

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Relación del modelo PHVA y la Norma Internacional (I.S.O., 2015)	19
Ilustración 1-2: La evolución del mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2013)	20
Ilustración 1-3: flujo de implementación de técnica de FMECA (MOUBRAY, 2004).....	22
Ilustración 2-1: mapa guía del mantenimiento Lean (MOSTAFA, y otros, 2015)	30
Ilustración 2-2: Método de 3R avanzado (FERCOQ, 2013)	37
Ilustración 2-3: Interacción Lean entre manufactura y mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014)	39
Ilustración 2-4: Interacción Green entre manufactura y mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014)	40
Ilustración 3-1: Diagrama simplificado del proceso de chancado (FLSMIDTH S.A., 2014)	44
Ilustración 3-2: Especificaciones de parte y materiales del chador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011).....	46
Ilustración 3-3: Movimiento chancador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011)	48
Ilustración 3-4: Estructura general del chancador (FLSMIDTH S.A., 2014)	50
Ilustración 3-5: Componentes principales del chancador (FLSMIDTH S.A., 2014).....	51
Ilustración 3-6: Componentes principales del cuerpo del chancador giratorio (FLSMIDTH S.A., 2014).....	52
Ilustración 3-7: Conjunto en detalle de la araña (FLSMIDTH S.A., 2014)	53
Ilustración 3-8: Conjunto en detalle de carcasa y cóncavas (FLSMIDTH S.A., 2014)	54
Ilustración 3-9: Conjunto en detalle del Eje Principal y su revestimiento (FLSMIDTH S.A., 2014).....	55

Ilustración 3-10: Conjunto en detalle zona inferior Eje Principal y componentes (FLSMIDTH S.A., 2014).....	56
Ilustración 3-11: Conjunto en detalle del Cilindro Hidráulico o Hydroset (FLSMIDTH S.A., 2014).....	56
Ilustración 3-12: Conjunto del Contra-eje (FLSMIDTH S.A., 2014)	57
Ilustración 3-13: Conjunto de lubricación y enfriamiento (FLSMIDTH S.A., 2014).....	58
Ilustración 3-14: Conjunto de lubricación araña (FLSMIDTH S.A., 2014)	59
Ilustración 3-15: Conjunto de Sistema Hidráulico (FLSMIDTH S.A., 2014)	60
Ilustración 3-16: Sistema de lubricación y enfriamiento (FLSMIDTH INC., 2011)	63
Ilustración 3-17: Sistema de lubricación araña (FLSMIDTH INC., 2011)	66
Ilustración 3-18: Sistema de ajuste hidráulico (FLSMIDTH INC., 2011)	67
Ilustración 3-19: Sistema indicador de posición del manto (FLSMIDTH INC., 2011)	69
Ilustración 3-20: Posicion de medicion de parametros en cuerpo principal (FLSMIDTH S.A., 2014).....	71
Ilustración 3-21: Posicion de medicion de parametros en sistema complementario (FLSMIDTH S.A., 2014)	71
Ilustración 4-1: Matriz de criticidad (AGUILAR, 2010)	80
Ilustración 4-2: Matriz de criticidad total (AGUILAR, 2010) y (elaboración propia).....	84
Ilustración 4-3: Distribución de criticidad categorizada de componentes (elaboración propia)	85
Ilustración 4-4: Distribución de criticidad total de componentes (elaboración propia)	87
Ilustración 5-1: zonas de principal desgaste en chancador (FLSMIDTH S.A., 2014).....	98
Ilustración 6-1: Referencia de equipo rompe-rocas (Maestranza Diesel, 2018)	125
Ilustración 7-1: Grafico de procesamiento de cóncavas (FLSMIDTH S.A., 2014)	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz estratégica para gestión (FERCOQ, 2013)	35
Tabla 2: Características de Lean y Green (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014).....	41
Tabla 3: Impacto de LEAN y GREEN en el desempeño del mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014) (FLSMIDTH S.A., 2014) y (elaboración propia).	42
Tabla 4: Datos técnicos del chancador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011).....	61
Tabla 5: Requerimientos operacionales del chancador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011).....	61
Tabla 6: Características del mineral ROM (FFE MINERALS USA INC., 2002)	62
Tabla 7: Valores de frecuencia (AGUILAR, 2010)	77
Tabla 8: Valores de impacto operacional (AGUILAR, 2010).....	78
Tabla 9: Valores de impacto ambiental (AGUILAR, 2010) y (elaboración propia).	79
Tabla 10: Modos de fallas operacionales (elaboración propia).....	81
Tabla 11: Valores y ponderación de sección (elaboración propia)	83
Tabla 12: Listado de fallas chancador primario (elaboración propia).....	88
Tabla 13: Extracto de listado de causas de fallas chancador primario (elaboración propia).....	89
Tabla 14: Extracto de soluciones estándar de fallas chancador primario (elaboración propia)	90
Tabla 15: Caracterización de problema de alimentación chancador primario (elaboración propia).....	92
Tabla 16: Caracterización de problema de rendimiento chancador primario (elaboración propia).....	93
Tabla 17: Caracterización de problema de calidad chancador primario (elaboración propia)	93

Tabla 18: Caracterización de problema de parámetros chancador primario (elaboración propia).....	94
Tabla 19: Niveles de contaminación de aceite (FLSMIDTH INC., 2011).....	101
Tabla 20: Listado de componente de desgaste (FLSMIDTH INC., 2012).....	104
Tabla 21: Listado de procedimientos de remoción y remplazo (FLSMIDTH INC., 2012)	105
Tabla 22: Listado de componente eléctrico o electrónico del chancador (FLSMIDTH INC., 2011).....	107
Tabla 23: Secuencia de acciones de seguridad (elaboración propia)	110
Tabla 24: Comentarios previos a acciones de mantenimiento (FLSMIDTH INC., 2011) y (elaboración propia).....	110
Tabla 25: Formato de plan de mantenimiento mecánico chancador primario (elaboración propia).....	111
Tabla 26: Parámetros de proceso de cambio de cóncavas (FLSMIDTH INC., 2011) y (elaboración propia).....	114
Tabla 27: Programa de lubricación de sistemas complementarios (elaboración propia) ...	116
Tabla 28: Programa de lubricación de sellos (elaboración propia)	117
Tabla 29: Programa de lubricación de acoplamientos (elaboración propia)	118
Tabla 30: Frecuencia de toma de muestras de aceite (elaboración propia)	120

INTRODUCCIÓN

Es común constar con el conocimiento acerca de metodologías de gestión de la producción o bien mejoramiento continuo, estas técnicas proporcionan un enfoque a la hora de toma de decisiones pues demuestran la naturaleza e intereses de la industria. Poder poseer paradigmas de gestión con una visión sustentable tiene gran influencia a nivel de muchas dimensiones de la producción, tanto sistema de calidad, ambiente de trabajo, método de producción, gestión de proveedores, entre otros. Un método de este tipo se le conoce como sistema integral el cual tiene como meta la reducción de costos, flexibilidad, la mejora de los procesos y la reducción de desperdicios o bien la reducción de todo lo que no agregue valor al proceso, esta responsabilidad también se extiende a lo largo de toda la vida útil del producto o servicio.

Un problema recurrente en la gestión de procesos y producción es el impacto que efectúa en el medio ambiente, en términos de poder poseer un sello de producción amigable con el medio ambiente y dejar el menor impacto por los procesos efectuados, entregar la idea de que la empresa no tiene como único foco el ámbito económico, sino también el uso responsable de los recursos. Este interés se ve motivado por el reconocimiento que se puede llegar a lograr de manera nacional e internacional por integrar temáticas de esta índole en sus estrategias de negocio, lo cual es un sello ya característico de la empresas de estándar mundial, si bien, una empresa que se denomine sustentable debería eliminar la totalidad de sus desechos y emisiones como también solo consumir desde fuentes renovables, esto en actualidad es muy lejano aun de lograr, por lo tanto el esfuerzo se debe centrar en integrar cada vez más prácticas de carácter sustentable. De esto no se escapa la gestión de mantenimiento la cual ya no se ve como un gasto sino más bien como una inversión que trae grandes beneficios y se vincula fuertemente con temas como la innovación, medio ambiente, gestión económica, capacitación y competitividad.

Aquí es donde cobra gran relevancia el mantenimiento como fuente donde tratar temas de responsabilidad ambiental pues tiene un rol crítico en actividad de apoyo a la producción, si bien comúnmente se conoce al mantenimiento a través de estudios individuales en sus paradigmas a la hora de aplicarlo y un poco alejado de metodologías sustentables, la misión

es lograr el acoplamiento de estos temas, es decir una integración simultanea de aseguramiento de calidad, mejora continua y responsabilidad ambiental a los planes establecidos de mantenimiento en elementos de la cadena productiva. Lograr una estrategia integral proveerá de una maximización de los beneficios a través de la reducción de costos como también por la disminución de impacto negativo sobre el medio ambiente.

Por lo cual se pretende presentar el desarrollo de un plan de acción a nivel de gestión de mantenimiento, haciendo un recorrido por la importancia del uso responsable de recursos, estableciendo los límites sobre la propia gestión de procesos, marco legal e importancia del reconocimiento acreditado, como también, definir estrategias de mantenimiento acorde a los objetivos y proporcionar un análisis de lineamientos en la gestión con una mirada detallada de las entradas y salidas en acciones de mantenimiento y la propia ejemplificación del proceso y los resultados posibles por la aplicación de un modelo integral de este tipo. En este punto es posible intuir la importancia que posee tener conocimiento de las fortalezas y debilidades de los procesos, en específico la gestión de mantenimiento, si bien los procesos son complejos este tópico es interesante de analizar pues presenta una gran posibilidad de optimizar el uso de recursos, tema de gran importancia a la hora de realizar una sumatoria en todos los procesos y demostrar que una buena gestión de mantenimiento desencadena una serie de beneficios.

Para llevar a cabo un plan de análisis en el uso de insumos se debe presentar una secuencia de acciones que conlleven como resultado el objetivo principal de la investigación. Como primera instancia se debe formular una base de acción donde se permita apreciar la disposición que se cuenta para el manejo responsable de insumos en cualquier etapa del proceso productivo, es por esto que se espera presentar las condiciones mínimas en la gestión ambiental y el aseguramiento de calidad que se debe poseer para una efectiva modelación, ya que, si se cuenta con problemas más profundos, presentar consideraciones no sería productivo. Una vez ya se cuente con la base es importante acotar el procedimiento más específico a tratar, en este caso el mantenimiento, de donde es muy importante el tipo de estrategia propuesta, pues si bien la gestión ambiental delimita el accionar, la gestión de mantenimiento demuestra las posibilidades y enfoque que se espera obtener, de aquí la necesidad que mantenga la misma línea con la producción.

Con las limitaciones ya impuestas se busca presentar una guía para encontrar los tópicos más influyentes en el manejo de insumos en los planes de mantenimiento de cualquier activo y así valorizar cada uno de ellos y tener la capacidad de jerarquizarlos para su reforzamiento, reformulación o eliminación. Con esto se busca la ejemplificación para presentar la efectividad de la investigación, como a demás su transversalidad y adaptación a distintos modelos de gestión y estrategias de producción y mantenimiento afines. Por último, ya habiendo establecido las limitaciones y necesidades, proceder a emitir las necesidades que presenta el plan analizado, presentar las consideraciones de reafirmación de procedimientos como también planteamientos de modificación.

Todos estos objetivos se presentarán en distintos capítulos presentando una revisión de los temas más relevantes como la gestión ambiental y el mantenimiento. Estableciendo una continuidad luego de presentar el marco teórico, se tendrá procedencia a la presentación de la metodología a utilizar para lograr cada uno de los objetivos, para terminar con la muestra de resultados esperados y sus respectivos análisis de ser necesario, para denotar las diferencias de poseer la ambición de ser responsable en la forma de se disponen y usan los insumos.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Desarrollar una propuesta de mejora en el plan de mantenimiento de un chancador primario, a través del análisis del ciclo de vida del activo y el manejo de sus desechos e insumos, con tal de asegurar la responsabilidad ambiental en el proceso.

Objetivos específicos:

- Proponer los criterios de gestión ambiental y mantenimiento, acorde a políticas de responsabilidad ambiental para así definir los límites del análisis.
- Identificar y caracterizar los elementos del equipo por medio de un estudio de criticidad enfocado en el área de gestión ambiental.
- Verificar las diferencias del proceso de mantenimiento actual, respecto a los parámetros definidos en las estrategias de gestión, para realizar las propuestas de mejora.
- Identificar los suministros e insumos en el proceso de mantenimiento del equipo, con registro de su ciclo de vida actual.
- Medir el impacto en la confiabilidad del equipo y evaluación económica de las propuestas de mejora en el proceso de mantenimiento.

1. Marco teórico

1.1 Conceptos generales

Nos encontramos en un tiempo que nos señala que el cuidado del medioambiente ya no es un slogan sino una respuesta que debemos dar hoy, para mejorar nuestra propia realidad y la de futuras generaciones. En el ejercicio responsable de nuestra profesión se encuentra parte de la solución al problema. Los procesos consumen recursos y también los contaminan; su impacto continuo genera daños, que atentan contra la calidad de vida y la salud de la sociedad. Los costos de la energía se van tornando cada vez más costosos, al igual que los costos de producción. En este marco la operación y mantenimiento responsable medioambientalmente de los procesos productivos se ha vuelto una necesidad ya que no solo hace a la instalación una mejora sino también a la eficiencia en el manejo de recursos. Es fácil pensar en el desarrollo desde las bases de procesos que posean la marca que desde su concepción buscan la sostenibilidad, pero en la mayoría de los casos de procesos productivos ya establecidos su eje primordial de construcción no fue ese, de aquí nace la necesidad de establecer estrategia de reingeniería o adaptaciones para mejorar los estándares de calidad, es claro que se busca un acoplamiento que permita establecerse competitivamente y con sello de mejora continua, lo que trae consigo una serie de beneficios tanto en ámbito económico, abaratando costos, como en la imagen corporativa en industrias que apuntan al posicionamiento en el mercado.

El enfoque particular se dirige a la gestión de mantenimiento que se lleva a cabo en distintos activos de forma no invasiva al plan que pueda poseer, es decir entregar una guía. El aporte del trabajo de investigación se dirige a poder producir un análisis de la gestión ambiental y como mejorarla a través del instaurar la responsabilidad en el manejo de insumos. Se trabajará específicamente con el área de mantenimiento, es por esto que se recorre la metodología desde un ámbito general hasta la especificación, delimitando los principios de gestión ambiental necesarios y que no traspasen con los reglamentos legales y propósitos de la empresa, así plantear la estrategia de mantenimiento que asegure la responsabilidad ambiental. Esto significará la posibilidad de analizar íntegramente los planes de mantenimiento y proporcionar acciones de reforzamiento, cambio o eliminación en sus

metodologías. Esta idea no es nueva, pues a través del tiempo se ha buscado el mejoramiento continuo de todos los procesos, obviamente incluido el mantenimiento, prueba de ello es la evolución que este ha sufrido en las últimas décadas e innumerables estudios y publicaciones al respecto, por ende, es necesario hacer un recorrido en dichas estrategias que delimitan el marco teórico de la investigación.

1.2 Conceptos de gestión ambiental

Lo primero es establecer la necesidad de un sistema de gestión ambiental que regule las capacidades y las prácticas, un buen modelo que presenta esto son las normas internacionales que no están previstas para cambiar de ninguna forma los requisitos legales de una organización que claramente es la base de la operación. El propósito de una norma internacional de gestión ambiental es proporcionar a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, sin dejar de lado las necesidades socioeconómicas. Las normas establecen requisitos que permitan que una organización logre los resultados previstos que ha establecido para su sistema de gestión ambiental. Un enfoque sistemático a la gestión ambiental puede proporcionar información para contribuir al desarrollo sostenible mediante (I.S.O., 2015):

- La protección del medio ambiente, mediante la prevención o mitigación de impactos ambientales adversos.
- La mitigación de efectos potencialmente adversos de las condiciones ambientales sobre la organización.
- El apoyo a la organización en el cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos.
- La mejora del desempeño ambiental.
- El control o la influencia sobre la forma en la que la organización diseña, fabrica, distribuye, consume y lleva a cabo la disposición final de productos o servicios, usando una perspectiva de ciclo de vida que pueda prevenir que los impactos ambientales sean involuntariamente trasladados a otro punto del ciclo de vida.

- El logro de beneficios financieros y operacionales que puedan ser el resultado de implementar alternativas ambientales respetuosas que fortalezcan la posición de la organización en el mercado.
- La comunicación de la información ambiental a las partes interesadas pertinentes.

Un ejemplo claro son la ya referenciadas normas ISO (Organización internacional de Normalización), en el caso específico de la gestión ambiental a la norma ISO 14001:2015 la cual es una guía que su cumplimiento asegura un nivel de calidad avalado por esta institución, recalcando que estas normas no necesariamente representan las necesidades legales, de todas formas, es un buen acercamiento a los modelos de gestión, en particular esta norma internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental que una organización puede usar para mejorar su desempeño ambiental. La norma está prevista para el uso de una organización que busque gestionar sus responsabilidades ambientales. Esta norma ayuda a una organización a lograr los resultados previstos de su sistema de gestión ambiental, con lo que aporta valor al medio ambiente, a la propia organización y a sus partes interesadas.

Esta norma internacional es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo y naturaleza, y se aplica a los aspectos ambientales de sus actividades, productos y servicios que la organización determine que puede controlar o influir en ellos. Esta norma internacional se puede usar en su totalidad o en parte para mejorar sistemáticamente la gestión, bajo esta descripción es claro que tiene la capacidad de influir en la gestión específica de mantenimiento y su impacto con el medio ambiente.

La base para el enfoque a un sistema de gestión ambiental se fundamenta en el concepto de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA). El modelo PHVA proporciona un proceso iterativo usado por las organizaciones para lograr la mejora continua. Se puede aplicar a un sistema de gestión ambiental y a cada uno de sus elementos individuales, y se puede describir brevemente así (I.S.O., 2015):

- **Planificar:** establecer los objetivos ambientales y los procesos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con la política ambiental de la organización.
- **Hacer:** implementar los procesos según lo planificado.

- **Verificar:** hacer el seguimiento y medir los procesos respecto a la política ambiental, incluidos sus compromisos, objetivos ambientales y criterios operacionales, e informar de sus resultados.
- **Actuar:** emprender acciones para mejorar continuamente.

La Ilustración 1-1 ilustra cómo el marco de referencia introducido en esta Norma Internacional se puede integrar en el modelo PHVA, lo cual puede ayudar a comprender la importancia de un enfoque estratégico a la hora de establecer cambios en los paradigmas de gestión.



Ilustración 1-1: Relación del modelo PHVA y la Norma Internacional (I.S.O., 2015)

1.3 Conceptos de mantenimiento

Por otro lado, estableciendo la investigación a niveles más específicos esta la necesidad de analizar que sucede con la gestión del mantenimiento como tal, aquí es donde debemos estudiar su campo de desarrollo. Un sistema de producción consiste en diferentes tipos de equipos y todo el equipo debe estar disponible y confiable al más alto nivel posible para asegurar la estabilidad de un proceso (STUCHLY, y otros, 2014). El departamento de mantenimiento es responsable de mantener idealmente el equipo en la condición que inicialmente fue adquirido y también para asegurarse de que puede entregar salidas de acuerdo con la especificación. Durante las últimas décadas, la teoría ha cambiado radicalmente de acuerdo con los nuevos paradigmas de fabricación en donde podemos

presenciar un avance tanto en políticas corporativas como en procesos de aseguramiento de funcionamiento de los activos por requerimientos propios de la producción, en otras palabras, si la forma de producción cambia, también lo hace la forma en que se desarrolla el mantenimiento, esta evolución depende netamente de la tecnología, de la capacidad de implementarla y lo permitido legalmente, si bien existen varias interpretaciones de la evolución del mantenimiento se muestra una en asociación a políticas de producción, según la Ilustración 1-2.

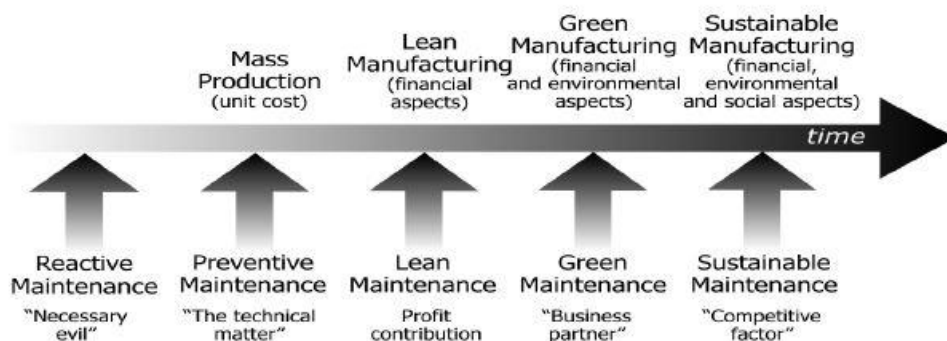


Ilustración 1-2: La evolución del mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2013)

Haciendo un poco de historia sobre el mantenimiento hasta la Segunda Guerra Mundial, la industria no estaba muy mecanizada, ya que los tiempos de inactividad no eran considerados. La mayoría del equipo era simple y sobre diseñado, las consecuencias de la falla no eran vitales y tenían un efecto despreciable. Este fue el momento en que evitar que el equipo fallara no era una alta prioridad. Por lo tanto, el equipo industrial fue operado hasta que falló, momento en el que fue reparado o reemplazado según el principio "repararlo cuando se rompe". El mantenimiento fue considerado como una tarea de producción y un mal necesario. El primer enfoque podría describirse como mantenimiento reactivo cuando no se toman medidas para evitar fallos o para detectar el inicio del fallo.

La próxima generación de mantenimiento se inició con el proceso de industrialización. Las plantas de fabricación se hicieron complejas. La disponibilidad, la longevidad y el costo se consideraron factores importantes para lograr los objetivos de negocio. El mantenimiento se convirtió en una tarea del departamento de mantenimiento y se consideró como un asunto técnico de acuerdo con el principio de "yo opero-Tu arreglas". Así, el segundo enfoque de

mantenimiento podría describirse como un enfoque preventivo. Desde el inicio de la década de 1970, surgieron nuevas opciones para la realización de mantenimiento con el desarrollo de herramientas de diagnóstico y nuevos enfoques para la gestión corporativa, como el paradigma Just In Time, la filosofía de Total Quality Management y la eliminación de residuos según Lean Manufacturing (desperdicio es cualquier cosa que no agrega valor a un producto, un proceso o un servicio) (STUCHLY, y otros, 2014). En el sistema de mantenimiento, los desechos suelen consistir en procedimientos anticuados, exceso de existencias, inventario infrautilizado de equipo, material, partes, así como desperdicio de mano de obra, tiempo, transporte, etc. Todos los principios, métodos y tecnologías que pueden reducir los residuos arriba mencionados y añadir valor durante el proceso de mantenimiento se denominan "Lean Maintenance", definido como el mantenimiento "lean" haciendo referencia a un proceso esbelto, ágil; como la entrega de servicios de mantenimiento a los clientes con el menor desperdicio posible (SMITH, 2004). Esto promueve el alcanzar un resultado deseable del mantenimiento con el menor número posible de insumos. Los insumos incluyen: mano de obra, repuestos, herramientas, energía, capital y esfuerzo de gestión, por otro lado, las ganancias de un sistema de este tipo son una mayor fiabilidad de la planta (disponibilidad) y una mayor repetitividad del proceso (menor variabilidad).

Los sistemas actuales de planificación y control de la producción requieren soluciones específicas, utilizando las herramientas de Lean, TOC y otros, según las condiciones de la organización. Unas trayectorias similares siguen los sistemas de mantenimiento que utilizan las herramientas de muchos conceptos. A principios de los años noventa, se desarrolló la idea del mantenimiento verde, que proponía que se realizara mediante el uso de tecnologías a costa de los menores recursos y el consumo de energía, el menor desperdicio e impacto ambiental. Mantenimiento Verde es la gestión de operaciones de aseguramiento de funcionamiento de una manera respetuosa con el medio ambiente. Incluye todos los procesos, comenzando con la selección de una estrategia para el servicio de un activo (por ejemplo, reactivo, preventivo, proactivo), la selección materias primas y componentes necesarios para el equipo, almacenamiento, mantenimiento (planeado y no planificado).

Los sistemas de fabricación Lean y Green requieren una producción eficiente y un bajo uso de recursos como energía, materiales, etc. Uno de los principales facilitadores de esto es el mantenimiento efectivo, el cual todavía tiene una imagen negativa en la industria. Pero a

medida que el paradigma sobre el cambio de fabricación hacia la realización de una fabricación sostenible, el papel cambiante de mantenimiento también debe ser considerado y apreciado como ya lo es para las grandes industrias que apuntan al posicionamiento en la parte alta del mercado.

1.4 Conceptos de criticidad por modo de falla

Poder realizar una jerarquización de los conceptos de análisis de criticidad está enfocada en identificar las fallas más comunes de un sistema, sus efectos y causas que puedan ocurrir en el proceso, en la presente investigación se realiza para la jerarquización de componente de un activo. El método FMECA (Bowles, 1998) que se utilizara para la identificación de criticidad, de forma original tiene un procedimiento de implementación mostrado en la Ilustración 1-3.

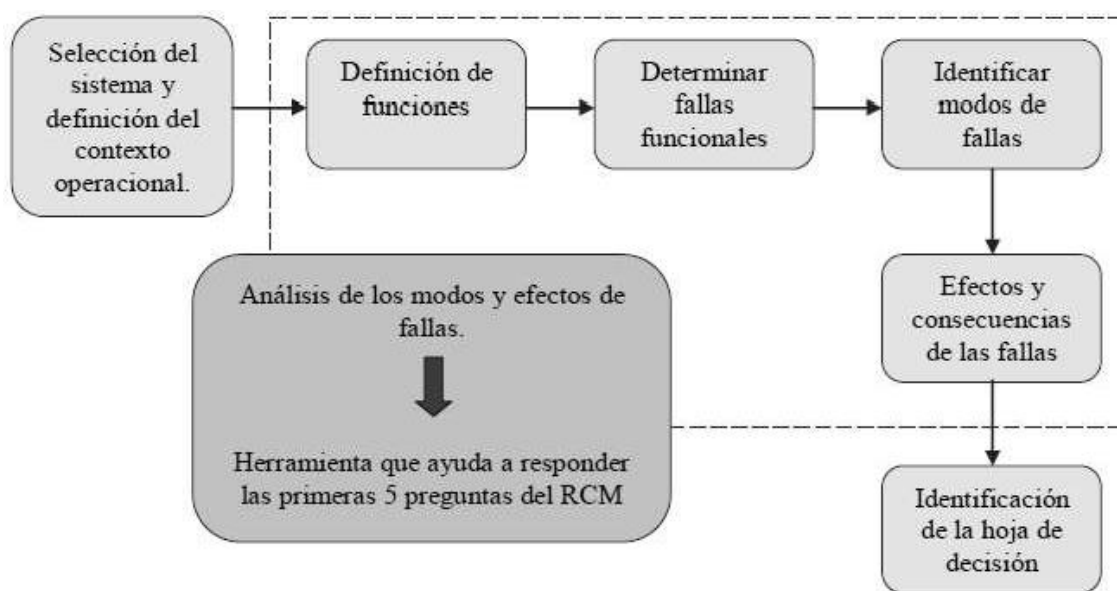


Ilustración 1-3: flujo de implementación de técnica de FMECA (MOUBRAY, 2004)

Este método se puede dividir en distintos pasos como se muestra en la ilustración recién presentada, la definición de las etapas según John Moubray (MOUBRAY, 2004) es la siguiente:

- Definición de funciones.

Esta etapa consta en definir las funciones que realizan los componentes dentro de su funcionamiento normal. Apunta en definir claramente la funcionalidad específica que aporta el componente al equipo.

- Descripción de fallas funcionales.

Una falla se define como la incapacidad de un componente para cumplir con su funcionamiento, por ende, basta con que el equipo pierda eficiencia como para ser considerada una falla. Cualquier alteración de la función previamente definida debe ser detallada en esta etapa.

- Identificar los modos de falla.

Aquí comienza el análisis, luego de definir las funciones y las fallas funcionales, el siguiente paso es identificar todos los eventos o factores que puedan provocar el estado de falla. Estos eventos son los llamados modos de falla.

Los modos de falla pueden incluir averías causadas por deterioro debido a condiciones ambientales, desgaste por uso vida útil, así como también, fallas causadas por errores humanos (por operadores y mantenedores) y de diseño.

- Describir los efectos de los modos de fallas identificados.

Cada modo de falla tiene su respectiva consecuencia en la gestión del mantenimiento. La experiencia y conocimiento de los equipos facilita el describir los posibles efectos de los modos de falla identificados.

- Determinar las consecuencias de un modo de falla.

El determinar y tener claridad de las consecuencias de los diferentes modos de falla es de vital importancia para poder seleccionar las acciones de mantenimiento a aplicar. En esta sección también muchas veces se describen las soluciones correctivas de los modos de fallas.

- Determinación de las actividades de mantenimiento.

Una vez obtenida la evaluación de las consecuencias de los modos de falla; se debe realizar un análisis acerca de qué estrategia de mantenimiento establecida para prevenir el modo de falla.

1.5 Área trabajada

La aplicación de ideologías para casos específicos de industrias que buscan un cambio en sus procesos actuales, necesitan una aplicación parcial, pero de declaración general de las intenciones, para el caso de esta investigación se aplica sobre el área de mantenimiento, pero esta definición sigue siendo muy amplia, se hace importante seleccionar aun con más detalle tanto un rubro industrial acorde a la estrategia establecida, un proceso y un equipo donde se pueda trabajar.

Por parte del rubro, la minería es destacada pues posee una consolidación en sus procesos y la necesidad de mejorarlos, ahora bien en que proceso centrarse para proponer una mejora en su plan de mantenimiento que tiene como objetivo el aumento de disponibilidad de sus equipos, la respuesta viene dada por limitantes de asegurar beneficios globales y no solo en un área, con esto se quiere dar por entender una limitante, el hecho de mejorar un procesos no necesariamente corresponderá a una mejora global pues puede ser hasta contraproducente, por ejemplo en el caso de aumentar disponibilidad y por ende la producción en un proceso predecesor de un cuello de botella, a nivel mayor provocara que se agrave la situación, como se disminuye la probabilidad de esto sin realización de análisis globales, pues se selecciona un procesos de inicio, estos por lo menos en el caso de la minería responde a una necesidad de aumento de producción con la posibilidad de acopio sin perjuicio de lo producido, aquí aparece como opción y que es seleccionada la conminución y en específico el chancado primario que recibe como input material directo de la mina, cumpliendo con condiciones ideales para trabajar sobre el mantenimiento de su equipo principal.

Como se conoce Chile es uno de los principales países con desarrollo minero, siendo de nivel mundial en la explotación de cobre, es entonces muy importante todos los procesos, el seleccionado, uno de los primeros, el chancado, como equipo insignia el chancador primario con la misión de reducir el tamaño del material, como proveedor de este equipo uno de los más importantes es FLSmidth S.A. con la venta de equipo, además servicios y venta de repuestos, en el caso particular de chancadores primarios esta compañía tiene puesta en funcionamiento en cerca de 14 faenas el equipo de chancador giratorio de cono primario.

Realizando una revisión más específica de la organización de la cual es el equipo seleccionado para contextualizar la oportunidad de realizar una investigación de estas

características. FLSmidth S.A. es un grupo multinacional de origen danés fundada en 1882 como una empresa enfocada en la fabricación de equipos para la industria cementera, con el pasar de los años incursionó en la industria minera como alternativa con la estrategia organizacional de adquirir distintas compañías especialistas y poder crecer en los productos y servicios entregados. En la actualidad tiene presencia internacional en industrias de cemento, minería y de carácter industrial con necesidad de equipamiento, en el caso de Sudamérica sus oficinas centrales están en Chile por el gran potencial en minería, contando con múltiples contratos en generación de soluciones industriales, servicios y productos. Para este caso específico se centrará en productos de crushing y los servicios que se prestan en referencia a ellos como aprovisionamiento de insumos, repuestos o bien servicios de soporte. Con la idea de profundizar en esta industria utilizar la referencia (FLSMIDTH, 2018).

Con respecto al equipo analizado, es seleccionado por la su presencia líder en faenas mineras y corresponder a un equipo crítico en el proceso de minería y contando con una alta posibilidad de mejora, puesto que la naturaleza contractual de la adquisición de un equipo no necesariamente incluye servicios asociados a ellos, sino más bien es una decisión de la industria que necesita la maquinaria quien decide quien realiza los servicios asociados, es aquí donde está la primera oportunidad de establecer servicios atractivos para el mercado, como es el caso de mejorar los procesos de mantenimiento y asociarlos directamente con un equipo en específico y su área de trabajo, es decir, servicios de soporte, producción, insumos y desechos.

1.6 Estructura de trabajo

Para llevar a cabo el presente trabajo de forma clara es necesario realizar una secuencia de acciones que proporcionen resultados bajo un marco establecido, la presente investigación tiene una metodología de especificación – análisis – síntesis (Ruiz, 2007).

La especificación hace referencia a establecer todos los límites de la investigación tanto sea para las métodos o tendencias de gestión, además de las herramientas a utilizar de las mismas, el exponer su secuencia de acción se infiere que el proceso de trabajo se realiza bajo los parámetros expuestos y su explicación, se cumple una función de establecer un protocolo de acción basado en las configuraciones expuestas. Importante es mostrar la validez de estos métodos, lo cual se consigue a través de las referencias.

Por su parte el análisis es un método de investigación que tiene como principal característica la desconstrucción, así descomponiendo los elementos se obtiene una imagen detallada de causas, naturaleza y efectos (Ruiz, 2007).

Y finalmente la síntesis es el procedimiento de unir todo nuevamente, ya con un panorama claro de la situación, con la facilidad de poder incluir mejoras específicas a los distintos sectores o elementos. De esta forma puja la mejora.

En el presente trabajo se lleva a cabo esta secuencia para cumplir con el objetivo general, siguiendo la secuencia de los objetivos específicos. Es por esto que en primera instancia a modo “especificación” se realiza una presentación de los distintos métodos y las herramientas a utilizar, esto se infiere como una guía a llevar a cabo presente en los capítulos **uno** y **dos**. Continuando con la metodología el análisis donde se realiza de desconstrucción es expuesta en los capítulos:

- **Tres:** Donde respectivamente se presenta el equipo que es objeto de estudio, descomponiéndolo por secciones, partes y funciones.
- **Cuatro:** Donde se presenta el análisis de operación y criticidad, con el objetivo de proporcionar información jerarquizada según el foco de la investigación.
- **Cinco:** Donde se presenta el análisis de los procedimientos actuales del equipo a analizar con tal de evidenciar cuales son los puntos abarcados por este y claramente cuáles no.

Por último, la síntesis como se menciono es el proceso de conglomerar para producir las propuestas de mejora, cambios de estructura o bien eliminación de procedimientos si se requiere y claro su validación, por su parte esto se presenta en los capítulos 6 y 7 respectivamente. Remarcando que el presente trabajo es referente a una investigación tecnológica-ingenieril que tiene como objetivo aplicar conocimiento científico para la resolución de diferentes problemas (Espinoza Montes, 2010).

2. Mantenimiento esbelto y de enfoque en la responsabilidad ambiental

En este capítulo se comienza a exponer las herramientas a utilizar en la mejora de un plan de mantenimiento de forma genérica, es decir, aplicable ante cualquier equipo que cuente con el análisis mínimo requerido para poder aplicar las estrategias a presentar.

2.1 Guía de acción para el mantenimiento Lean

Como ya se conoce el mantenimiento son una serie de actividades sobre un equipo con el objetivo de mantener la funcionalidad de este lo más cercana posible a su funcionamiento original, al seleccionar una estrategia de mantenimiento que un enfoque en la responsabilidad ambiental es importante contar con una guía, pues se trata de modificar programas ya existentes y para lograr una intervención realista se debe presentar con el menor impacto posible o bien con una alta demostración de beneficios, para esto se utiliza el concepto de que las estrategias de mantenimiento consisten en una secuencia de actividades de mantenimiento (MULLER, y otros, 2008), para enlistar las más utilizadas según (MOSTAFA, y otros, 2015):

- **Inspección:** revisar que los parámetros se encuentren dentro de los parámetros, observando o midiendo las características relevantes.
- **Monitoreo:** actividad manual o automática para observar el rendimiento del equipo y evaluar cualquier cambio en los parámetros.
- **Mantenimiento de rutina:** actividades regulares para asegurar el buen funcionamiento del equipo.
- **Revisión:** examinación exhaustiva del equipo para asegurar los niveles requeridos en la confiabilidad y seguridad, se realiza en intervalos de tiempo o carga de operación.
- **Rearmar:** acción de desarmar el equipo para reparar o reemplazar algún componente próximo al fin de su vida útil o de remplazo regular.
- **Reparar:** acción de devolver el funcionamiento de un equipo en falla, incluyendo diagnóstico, corrección de la falla y revisión de funcionamiento.

Lean significa el uso eficiente de los recursos disponibles, eliminando todo lo que no agrega valor a las actividades, esta mentalidad como se sabe tiene su origen y máximo desarrollo en conceptos de manufactura, es por esto que se utiliza la hipótesis de que los principios lean puede ser desarrollados en cualquier organización (STUCHLY, y otros, 2014). Estos principios tienen como objetivo base alcanzar una mayor calidad en los procesos donde son aplicados, entendiendo por calidad la definición de ser lo que el consumidor final del proceso demanda.

Es en vista de utilizar las herramientas más importantes del pensamiento Lean como lo es la definición de las mudas o desperdicios, expuestos en una serie interminable de fuentes, inicialmente establecido por Taiichi (OHNO, 1988) con sus siete desperdicios, pero según actualizaciones de investigadores (WOMACK, y otros, 1997) actualmente se consideran ocho tipos, uno más que los originales, una breve descripción se presenta a continuación:

1. **Sobreproducción:** producir demasiados elementos o con demasiada anticipación.
2. **Defectos:** errores frecuentes en diseño o problemas en la materia prima.
3. **Procesos inapropiados:** utilización equivocada de herramientas, procesos o sistemas.
4. **Movimiento excesivo:** demasiado movimiento de información o materiales resulta en pérdida de tiempo.
5. **Esperas:** largos periodos de inactividad de personas, información o productos para siguiente etapa del proceso.
6. **Movimiento innecesario:** una mala organización del lugar de trabajo provoca demasiado movimiento y posible extravío de materiales.
7. **Exceso de inventario:** demasiada acumulación de productos aumenta los costos.
8. **Talento desperdiciado:** no utilizar de buena forma las habilidades de las personas o equipos disminuye considerablemente el desempeño de un sistema.

Siendo estos los originales desperdicios o mudas se puede hacer bajo el contexto del área de mantenimiento una interpretación al área específica definiendo los desperdicios en el mantenimiento como se definen según Mostafa (MOSTAFA, y otros, 2015), “The Maintenance Waste”, se puede considerar como el primer paso del mantenimiento Lean la identificación de los tipos de desperdicio o mudas. Como el concepto central es aligerar los procesos, son útiles las siguientes descripciones:

1. **Mantenimiento improductivo:** realizar actividades preventivas y predictivas en intervalos más a menudo que lo óptimo, resulta en sobreproducción de trabajos de mantención.
2. **Espera de recursos:** la espera por parte de la producción del personal de mantenimiento para realizar las tareas, incluyendo espera de herramientas, documentos o adquisición de insumos.
3. **Mantenimiento centralizado:** ubicar la central de mantenimiento lejano al lugar de trabajo, uso continuo de insumos faltantes, documentación obsoleta y órdenes de trabajo no disponible, todo por mantener un lugar lejano no agrega valor al mantenimiento.
4. **Pobre administración de inventario:** no tener los insumos necesarios o un exceso de insumos, provoca lenta respuesta, paradas inesperadas y alta labor reactiva.
5. **Movimiento innecesario:** el desperdicio de movimiento asociado a acciones preventivas a menudo a activos que no lo necesitan, debe ser corregida su programación.
6. **Mantenimiento pobre:** acciones de mantención hechas de forma incorrecta, provoca un desperdicio en reprocesos.
7. **Manejo ineficiente de información:** colección innecesaria de información o también, la omisión de información necesaria, como tasas de fallas o causas raíces.
8. **Mala utilización de recursos:** técnicas de mantenimiento que no agregan valor al trabajo.

Para lograr la extrapolación exitosa del pensamiento Lean es necesario un plan de acción donde se pueda literalmente tomar un plan de mantenimiento de cualquier tipo de estrategia, desarmar, extraer la información necesaria e identificar sus acciones y aplicar las herramientas y adquiera una mejora según la visión de Lean, el beneficio de este modelo es que se basa en la mejora continua, es decir, el plan se está en constante evaluación, provocando la convergencia a minimizar las acciones que no entreguen valor. Para esto se utiliza una guía de acción, definida por una investigación (MOSTAFA, y otros, 2015), utilizando en cinco principios del pensamiento Lean se muestra en la Ilustración 2-1.

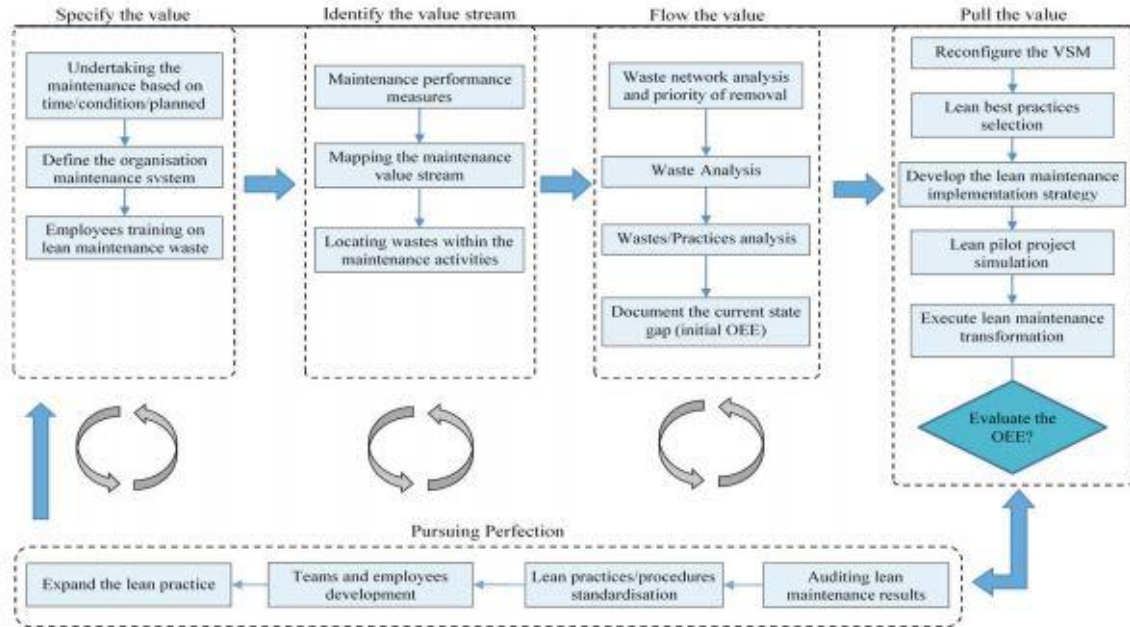


Ilustración 2-1: mapa guía del mantenimiento Lean (MOSTAFA, y otros, 2015)

Explicando paso por paso lo expuesto, esta guía puede considerarse como un paso inicial para integrar el pensamiento Lean con los procesos de mantenimiento. La idea principal que esta secuencia de acciones es flexible y puede ajustarse según cualquier estrategia ya establecida, siendo esta idea fundamental, poder replicar una mejora de forma independiente del tipo de mantenimiento que se utilice.

La guía propuesta se divide en cinco etapas, como se muestra en la Ilustración 2-1. Especificar el valor que se desea es la primera etapa que se enfoca en definir un sistema que apunte a necesidades específicas que incluye actividades, planificación de mantenimiento, estrategias y herramientas. En esta etapa también se define la presencia de mudas en el proceso. La segunda etapa es identificar el flujo de valores. Esto incluye todas las actividades y procesos relacionados con el mantenimiento.

La etapa comienza mapeando el flujo de valor y luego ubicando en qué punto está presente alguna de las mudas. Esta etapa finaliza con la configuración de las medidas de rendimiento del equipo, como la disponibilidad, la efectividad general del equipo y el tiempo medio entre fallas (MTBF). La tercera etapa es el análisis actual del flujo de valor y conexión con los desperdicios y luego el análisis de prácticas para enfrentar estos temas. Esta etapa documenta la brecha de estado actual del departamento de mantenimiento con lo que se tiene establecido.

La cuarta etapa es confirmar que el equipo está generando valor a través en todos los procesos de mantenimiento. La ejecución de los principios Lean tiene lugar en esta etapa. Las etapas incluyen algunos pasos que incluyen la reconfiguración de flujo de valor o el diseño del mapa de flujo futuro, la selección de las mejores prácticas Lean, desarrollar la estrategia de transformación Lean y evaluar los indicadores. La última etapa es buscar la eliminación de desechos de los procesos de mantenimiento. Esto podría lograrse a través de la mejora continua de los resultados de la mejora, estandarizar las prácticas y los procedimientos Lean, los desarrollos de los equipos, empleados y ampliar la práctica de lean.

Una breve descripción de las herramientas utilizadas por el pensamiento Lean y utilizadas en la presente investigación, por ser consideradas la más acordes para el equipo y que se acomoden en el proceso ya establecido son:

- **5S:** siendo uno de los métodos más conocidos pues muchas veces se toma como un punto de partida para realizar mejoras, debido que tiene la particularidad de preparación y entregar el orden necesario para aplicar distintos métodos de mejora. Es una forma de organización del lugar de trabajo que involucra a toda el área donde se aplica, esta herramienta de origen japonés consta de 5 pasos; organizar, ordenar, limpiar, mantener y disciplinar. Esto se usa para identificar las herramientas y repuestos del área donde se opera, esperando como resultado agilizar el proceso.
- **Modo de falla y análisis de efecto:** las actividades desarrolladas por esta herramienta tienen el objetivo de evaluar los riesgos presentes en el proceso y poder presentar una eliminación o reducción de estos. Se cuenta con distintos niveles de análisis donde se puede establecer los parámetros del impacto de las fallas, llevando a concluir la criticidad de los componentes según el foco deseado.
- **Mantenimiento autónomo:** esta herramienta es más un enfoque del mismo mantenimiento donde se le entrega mayor responsabilidad al operador sobre la maquina en vez de recargar la responsabilidad de operación al área de mantenimiento, tiene como característica de proporcionar una secuencia estable para revisión de equipos o procesos, común en procesos de limpieza o lubricación pues es necesaria tal rigurosidad.

- **Sistema de orden de trabajo:** esta herramienta trata de entregar un plan, asignaciones y programas en el trabajo, identificando frecuencias, equipo necesario y consideraciones de seguridad, tiene como peculiaridad incentivar la proactividad y mejora continua sobre los programas por la participación de los operarios de las áreas.

2.2 Manejo de insumos y desechos

Como uno de los ejes principales de la investigación se debe considerar la estrategia de insumos y desechos, este ámbito se engloba en el pensamiento medioambiental, o bien llamado Green, esta estrategia si bien no es tan poderosa como el pensamiento Lean se puede considerar como una extensión de este. Como se menciona Lean tiene un enfoque en la eliminación de las ocho mudas o desperdicios, el manejo de los desechos ambientales se puede considerar como uno más de estos.

Esta declaración establece un noveno desperdicio, lo que le otorga una gran importancia a su análisis y tratamiento, es aquí donde nace el concepto de Lean-Green, donde en palabras simples en esta investigación, sobre el área de mantenimiento se establece la metodología Lean con el objetivo central de eliminar las mudas adaptadas al proceso de mantenimiento y sumando un nuevo desperdicio, el pobre tratamiento medioambiental. En consecuencia, se tratará de modelar una gestión de los desechos e insumos a través del pensamiento Lean-Green. Si se hablan de que beneficios trae se ha de tener en consideración la mejora de imagen como productor de desechos y un consumidor exigente a la hora de solicitar insumos que se tenga conciencia de su ciclo de vida. Aquí, en los insumos es donde se establece la primera disyuntiva a la hora de hablar de responsabilidad medioambiental, si bien es una industria ideal se esperaría que todas las materias primas tengan un origen Green, haciendo referencia a una guía medioambiental, esto en la industria actual es muy lejano a la realidad, puesto que la decisión de adquisición responde a otros intereses más que a la necesidad de responsabilidad ambiental. Es por esto que se establece que el hecho de tener conciencia y registro de los insumos siendo o no muy apegados al pensamiento Green ya representa un avance a la hora de hacer un balance global, puesto que la idea de realizar una mejora sea cual sea el proceso debe partir por la identificación de este y caracterización de sus partes y participantes.

Como consideración principal en la gestión se debe tener presente que, al realizar una mejora en estricto rigor es un cambio en el modo de hacer, pues lo que se entiende por mejora responde a los intereses de una parte y desmedro de otra. Siempre se debe pensar en la mejora continua de los procesos antes que, en realizar una acción de reingeniería (ABREU, y otros, 2017). En base a esto que se hace uso del planteamiento publicado por Fercoq (FERCOQ, 2013) para la gestión de los desechos y extendiendo según requerimientos para los insumos, según lo expuesto el método es una profundización del método Six Sigma, en su estructura paso a paso de definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Para nuestro análisis se seguirá la secuencia:

- **Estrategia:** definir los parámetros y límites donde aplicar la gestión.
- **Identificar:** caracterizar las fuentes de desechos y procesos con insumos críticos.
- **Medir:** cuantificar los desechos e insumos y categorizar.
- **Analizar:** individualizar los desechos e insumos para generar plan de acción específico.
- **Mejorar:** implementar la acción de cambio en la gestión.
- **Implementar:** establecer nuevas actividades o de remplazo que agreguen valor a la gestión.
- **Control:** evaluar el desempeño y repetir para establecer la mejora continua.

Estos siete pasos establecen brevemente el modo de actuar ante el eje principal de la investigación de presentar consideraciones que proporcionen las mejoras en un proceso de mantenimiento según una visión de responsabilidad medioambiental, pero para llevar a cabo cualquier acción que involucre un cambio en los paradigmas de gestión siempre se deben responder a las preguntas del ¿por qué? y ¿Cómo?, refiriéndose a la justificación estratégica y técnica respectivamente.

2.2.1 Referencia estratégica (¿por qué?)

Una industria que se tenga la intención de perseguir una mejora en sus sistemas de gestión o bien esclarecer los puntos débiles de gestión, independiente el foco que esta busque, debe presentar una clara declaración de esta en sus principios, si bien, no es necesario en sus declaraciones de fundación lo debe hacer como una estrategia a seguir de forma transversal a todo nivel, sea o no una instauración progresiva o general. De caso contrario proponer un

cambio en busca de la mejora sin un lineamiento estratégico puede provocar un rechazo por parte del área seleccionada como pionera para aplicar las herramientas de la estrategia seleccionada. La imagen corporativa resulta ser el inicio y final de la modificación, lo que no quiere decir que sea el fin último, pero se inicia de forma interna comunicando la visión buscada de forma interna y terminan en lo posible obteniendo una mejora visible de forma externa, en el caso de las consideraciones medioambientales esto último es muy importante puesto que en la actualidad la tendencia exige a las industrias a ser más conscientes del impacto de sus procesos, lo que se ve reflejado por los mismo estados en ser cada vez más estrictos en este tema.

Estrategia ambiental aplicada al mantenimiento será en este caso el área pionera, en específico el manejo de desechos e insumos. La promulgación de esta visión claramente se debe realizar con tiempo de antelación a su instauración, pues es importante observar cómo reaccionan las distintas áreas, siendo una retroalimentación para establecer la mejor forma de activar la gestión del cambio, lo que es una estrategia organizacional por sí misma y se le debe dar la importancia como tal, pero no siendo el centro de esta investigación. Reducción de consumo de recursos e impacto ambiental de los procesos son los focos más obvios al escuchar hablar sobre responsabilidad medioambiental pero no son los únicos y no siempre serán los que más se desarrollan, pues si bien el planteamiento puede apuntar a eso toda estrategia se ve enmarcada en primer lugar por su legalidad, es decir, cumplimiento de las leyes y segundo beneficios institucionales, siendo una realidad actual pero no general el solo cumplimiento legal pero no ir más allá y hasta en algunos casos asumir las sanciones de no cumplimiento, es por esto que se debe presentar que estas modificaciones verdaderamente significan mejoras que acarrearán beneficios.

Para ejemplificar la referencia estratégica ambiental se puede hacer bajo una simple matriz estratégica (FERCOQ, 2013), representada en la Tabla 1.

Tabla 1 Matriz estratégica para gestión (FERCOQ, 2013)

		Perimeter	
		Internal	External
Stakes	Economic	Eco-efficiency	Eco-partnership
	Human	Eco-responsability	Eco-sharing

En esta instancia aparecen los tipos de compromisos que se establecerán, siendo tanto el económico como el humano de forma interna como externa, al final cada una de las partes al interior de la matriz representa un beneficio explicado a continuación:

- **Eco-efficiency:** haciendo referencia a la eficiencia desde el lado medioambiental es el más lógico de representar, pues, va asociado al rendimiento de los equipos de las áreas donde se aplicarán las herramientas de la estrategia de gestión seleccionada. Representa un beneficio económico interno al mejorar el rendimiento de algún proceso.
- **Eco-partnership:** es un beneficio económico externo pues va asociado a la imagen que entrega la industria y su intención de ser partícipe de una tendencia que no solo atrae un beneficio propio, sino más bien es una contribución social, similar, pero más amigable que las compensaciones ambientales, pues se hace partícipe a todos los stakeholders del proceso en la estrategia, todo bajo el concepto de generar valor económico, generando valor social.
- **Eco-responsability:** la responsabilidad medioambiental es definida como el conocimiento propio de los procesos y su impacto, para así, definirlos de forma interna y hacer partícipe a toda la industria en la mejora continua, buscando una armonía entre el trabajo y el ambiente.
- **Eco-sharing:** este beneficio humano externo es la cara visible de la industria y requiere de una inversión para generar un impacto social positivo, de las formas más comunes es el tratamiento de los desechos en lo posible reutilizarlos, por lo tanto, este beneficio no es monetario.

En conclusión, la industria cuenta con varias razones para poder aplicar estas estrategias de responsabilidad ambiental y estos beneficios son el incentivo para alcanzar estas metas expuestas de forma preliminar en la matriz.

2.2.2 Referencia técnica (¿Cómo?)

La forma de cómo realizar los procedimientos indicados en una estrategia de gestión responsable medioambientalmente, deben ser precisos metodológicamente y en este caso corresponde a herramientas conocidas por la industria, la innovación viene por parte de la forma y donde se apliquen las herramientas. Las técnicas recomendadas corresponden a tendencias como Six Sigma o bien la administración de desechos e insumos, lo que tiene como meta la optimización de este proceso.

Las herramientas que responden tanto a la modalidad Lean-Green son relativamente de sencilla aplicación y reconocimiento, como para el caso del análisis FMECA, 5S, administración visual, estandarización de trabajo o la iteración 3R en el caso medioambiental, lo cual se profundizara en esta sección de la investigación. Para la administración de desechos e insumos el foco se centralizará para su tratamiento en la iteración de reducir, reutilizar y recuperar (3R) pero bajo el concepto planteado por Fercoq (FERCOQ, 2013) como “advanced 3R” presentado en la Ilustración 2-2, donde se muestra una doble aplicación de la iteración, primero de forma interna partiendo con la reducción de desechos e insumos a través de herramientas Lean mencionadas, luego promoviendo las posibles reutilizaciones o bien el paso tres la recuperación por agentes externos al proceso, para luego aplicar los mismos pasos en reversa pero con la visión externa generando valor agregado de la acciones por la mejora continua y la mejora de avance en los procesos según Fercoq (FERCOQ, 2013). Los beneficios son directos al aplicar este tipo de modelos pues lo que hasta el momento se puede considerar como desecho en esta oportunidad se transforma en un nuevo insumo y al mismo tiempo los insumos constantes se ven disminuidos, es decir, se minimizan costos por aumentar insumos.

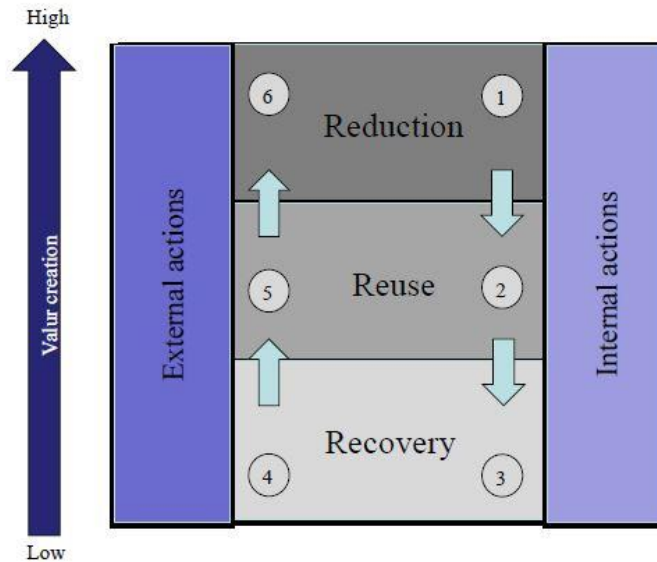


Ilustración 2-2: Método de 3R avanzado (FERCOQ, 2013)

En conclusión, las referencias proporcionan una guía estructurada del actuar de las distintas áreas a modo general en donde se apliquen modificación en su estrategia y por ende en la gestión trayendo modificaciones que se esperan que sean mejoras tanto en ámbitos económicos, ambientales y sociales.

2.3 Integración de Lean y Green en el mantenimiento

Las tendencias como Lean tienen su origen por la necesidad de mejora en procesos productivos y al comprobarse su efectividad se ven extendidos a otros procesos, es aquí donde se aproxima a procesos de mantenimiento que, si bien no es nuevo el intento de realizarlo, no está desarrollando por la misma naturaleza del mantenimiento de tender a caer en reactivo en vez de modelos más eficientes. Estos paradigmas tienen como base la reducción de costos, aumentar la flexibilidad de los procesos, mejora continua y eliminar lo que no agregue valor y no sea indispensable a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Por parte de la responsabilidad ambiental en términos de origen el pensamiento Green no tiene su origen en procesos sino más bien ante la necesidad de profundizar y entregar mayor importancia a estas actividades que se propuso estos modelos, con la base de producir consumiendo menos material y energía, como también, la sustitución de insumos de menor impacto ambiental y/o reciclada de forma interna o externa.

El paso claro que llevo a cabo la industria fue el de aplicar estrategias exitosas de un área a áreas contingentes y con la necesidad de ser más eficientes, el área de mantenimiento es un candidato ideal, una vez que se asume el rol crítico del mantenimiento más que una actividad de soporte se puede hablar de ser efectivo, para maximizar los beneficios por parte del Lean a través de la disminución de costos y por parte del Green por una menor influencia negativa en análisis medioambientales.

Ahora bien, de acuerdo a la definición propuesta por Narayan (NARAYAN, 2012), el mantenimiento abarca la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y gerenciales durante el ciclo de vida de un ítem, con la intención de mantener o devolver al estado en el cual pueda desempeñar la función requerida (NARAYAN, 2012). Sobre esto se busca que además genere beneficios y en esto tanto Lean como Green son conceptos que aún se mantienen populares.

En forma directa el mantenimiento Lean define desecho o muda, todo lo que no agregue valor a su proceso como se mencionó con anterioridad, ahora bien, se le puede definir como una operación de mantenimiento proactivo, donde se planean y programan actividades a través de distintas prácticas como la auto-dirección, procesos 5S y mantenimiento autónomo, todo para lograr un orden de trabajo fácil de seguir (SMITH, 2004). También se sigue la guía de que es un método que buscas que sus outputs se obtengan a través del menor consumo posible de inputs (LEVITT, 2008), entonces la característica principal del pensamiento Lean asociado al mantenimiento es aumentar la eficiencia y disminuir la mudas de este como esquemáticamente se muestra en la Ilustración 2-3 los requerimientos nacidos desde la manufactura entregando resultados en el mantenimiento.

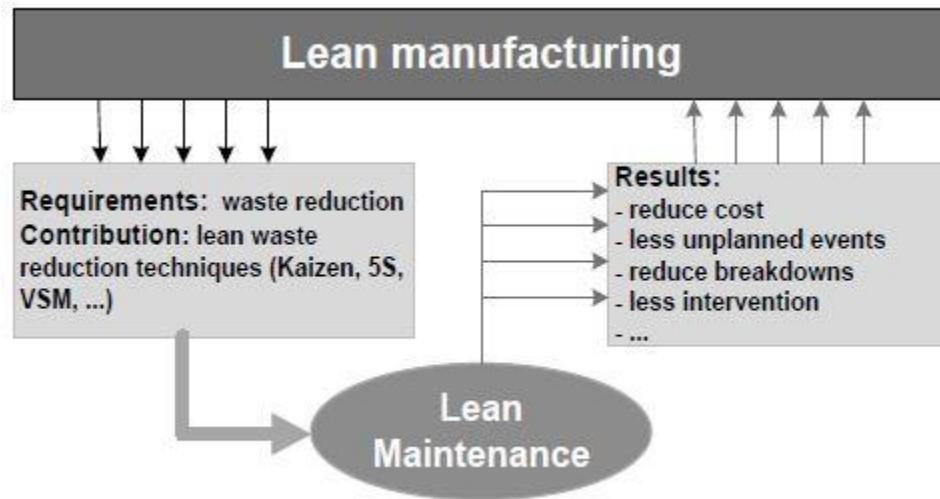


Ilustración 2-3: Interacción Lean entre manufactura y mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014)

Ahora bien, por parte del pensamiento Green en principio extraído y aplicado en la manufactura con el foco en necesidades ambientales, energéticas y desechos producidos durante el proceso, estos desechos son un uso excesivo o innecesario de recursos o bien la deposición de elementos dañinos para la salud del medioambiente donde obviamente se ve incluido el ser humano (EPA, 2007), prácticamente cuando se habla de desechos ambientales se puede entender como contaminantes, pero también lo son los procesos que no agregan valor al proceso y es bajo esta definición que se hace la conexión con el pensamiento Lean. Este tipo de desecho se considera una nueva muda y se puede entender como un signo de un proceso ineficiente con la oportunidad de ahorrar costos y tiempo, si se optimiza.

El mantenimiento Green busca directamente la responsabilidad ambiental, a través de una selección acorde de estrategia para mantener los equipos, el tratamiento de los insumos tanto sean repuestos de inventario, utilizados en servicios planificados o no, y de consumo como los limpiadores o lubricantes. Si bien por concepto se puede interpretar que el mantenimiento tiene un impacto negativo en el medioambiente este puede ser controlado por el simple hecho de considerar los ciclos de vida de los productos. Estas prácticas se pueden ver ejemplificadas en la Ilustración 2-4 donde se muestra la relación del pensamiento Green extraído de producción y aplicado en mantenimiento.

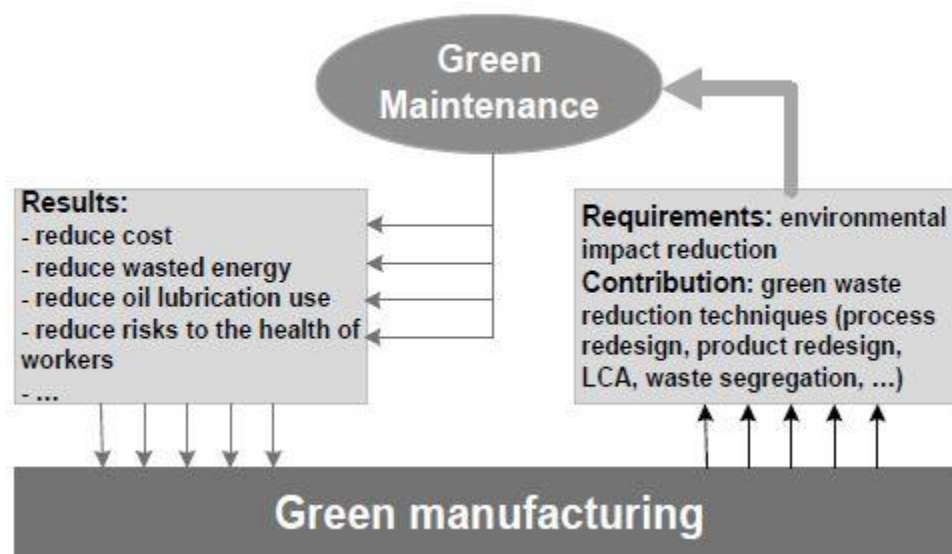


Ilustración 2-4: Interacción Green entre manufactura y mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014)

Bajo la definición entregada para mantenimiento, ahora su objetivo no es solo físico y operacional, sino que también el desarrollo con el menor impacto medioambiental posible, pero que signifique beneficios.

2.3.1 Integración de los paradigmas

Esta integración proporciona herramientas o técnicas en la estrategia para mejorar los indicadores del proceso, desempeño, deposición de desechos y proporciona mayor seguridad para las personas involucradas, como se hizo mención hablar de Green a grandes rasgos es similar a Lean, por lo menos en su aplicación, pues las actividades Lean ayudan a identificar los beneficios ambientales y eliminación de riesgos. Como meta de la integración se busca una armonización y coordinación entre el mantenimiento actual y las mejoras tanto en actividades, procesos y procedimientos, concordando en crear metas comunes para que la estrategia de mantenimiento sea de la manera más eficiente.

La nueva visión que se debe tener del mantenimiento es de un elemento de la cadena de valor y que busca crear valor agregado para el cliente sea interno o externo, se introduce el termino cadena de valor del mantenimiento (TAKATA, 2004). Las características de enfoque del proceso de integración tanto para manufactura, inventario, selección de insumos o diseño se muestran en la Tabla 2: Características de Lean y Green .

Tabla 2: Características de Lean y Green (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014)

ÁREA	LEAN	GREEN
Manufactura	▪ Reducción de costos ▪ Eliminación de mudas ▪ Eliminación de actividades no generadoras de valor	▪ Desarrollo sustentable
Estrategia de inventario	▪ Reducir inventario	▪ Minimizar impacto de disposición de insumos
Selección de insumos	▪ Proveedores involucran costos y alta calidad	▪ Adquisición responsable
Diseño de productos	▪ Maximiza desempeño y minimiza costos	▪ Eco-diseño ▪ Ciclo de vida ▪ Evaluación de riesgo e impacto ecológico

Esta última parte de diseño de productos por la naturaleza de la investigación no es profundizada, pero el resto es el motivo final por el cual se busca mejorar un plan de mantenimiento. Lograr esta aplicar esta idea requiere de un uso eficiente de distintas herramientas donde se va destacar por sobre todo la identificación de los procesos actuales, sea tanto el equipo a mantener desde una descomposición de sus partes y funcionamiento para lograr aplicar análisis de riesgo como lo es el análisis FMECA tanto para saber los modos de falla y consecuencias operacionales, como agregado consecuencias ambientales de un equipo específico pero sin dejar de lado problemas recurrentes en los procesos contingentes. Otra herramienta importante es el monitorio visual del cual su más conocido ejemplo es la gestión 5S buscando obviamente bajo este concepto organizar, ordenar, limpiar, estandarizar y disciplinar los procedimientos, pero agregando por concepto de Green una sexta S, la seguridad. Una siguiente herramienta es la estandarización de procedimiento para disminuir la variabilidad en el mantenimiento por procedimiento hechos de forma distinta a lo largo del tiempo. Y, por último, la capacitación del personal para llevar a cabo los procedimientos.

La utilización de Lean-Green bien aplicada acerca a la compañía a una visión más holística y refleja de mejor forma la mejora continua, es decir, de manera teórica se presentarían impactos en distintas área, presentando esto en la Tabla 3, esto adoptando un estilo proactivo facilitar la transformación a Lean-Green.

Tabla 3: Impacto de LEAN y GREEN en el desempeño del mantenimiento (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014) (FLSMIDTH S.A., 2014) y (elaboración propia).

ÁREA	IMPACTO DE PENSAMIENTO LEAN	IMPACTO DE PENSAMIENTO GREEN
Productividad y calidad	▪ Reduce actividades sin valor ▪ Incrementa valor por hora trabajada ▪ Aumenta detección de fallas	▪ Reduce consumo de energía
Costos	▪ Baja de inventario	▪ Decrece las tasas de desechos ▪ Decrece el uso medio de insumos
Seguridad	▪ Menos movimiento ▪ Menos desorden ante clientes externos e internos ▪ Condiciones anormales son más visibles ▪ Mayor apreciación de lo que constituye valor para el cliente	▪ Reducir los riesgos en salud de los trabajadores ▪ Aumentar conciencia de riesgo en los trabajadores ▪ Programas de capacitación
Medioambiente	▪ Menos sobreproducción	▪ Reducir los riesgos para el medio ambiente ▪ Reducción de recursos no renovables

		▪ Mejor administración de ciclo de vida del producto
--	--	--

3. Descripción del área de chancado primario y equipo objetivo

Los límites del área de chancado primario se pueden definir con un inicio en el flujo de alimentación hasta el acopio del mineral grueso, este proceso responde a la necesidad de un proceso mayor, la conminución es el proceso fundamental en los procesos metalúrgicos, la cual consiste en reducir el tamaño de la roca mediante utilización de energía externa, con la finalidad de separar el mineral valioso y concentrarlo, de la ganga especie sin valor para el proceso. Dentro de la conminución se encuentra efectivamente el chancado, encargado de las partículas gruesas, mayores que media pulgada y la molienda encargada de las partículas finas, menores a media pulgada, para realizar estos procesos se requiere de un alto consumo de energía, además, se ven limitada su eficiencia por el tamaño de la roca para tamaños muy pequeños se utilizan molinos. En la Ilustración 3-1 se muestra el proceso de forma resumida, establecer que la investigación se centrara en la máquina de chancado principal.

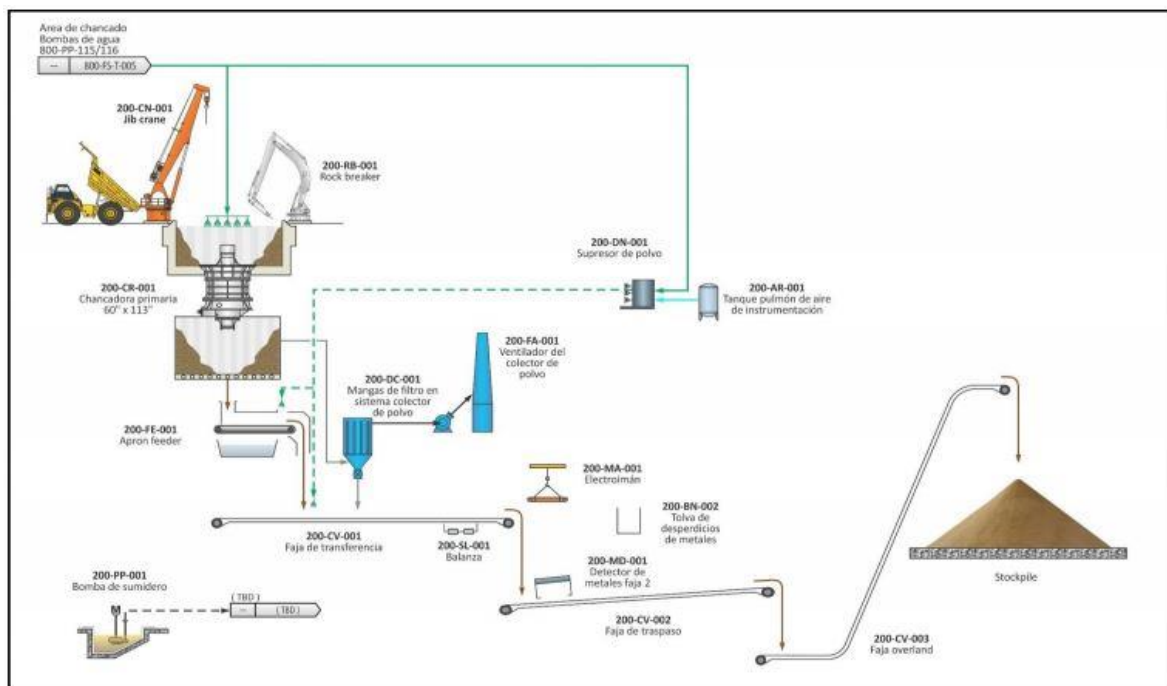


Ilustración 3-1: Diagrama simplificado del proceso de chancado (FLSMIDTH S.A., 2014)

El objetivo último del proceso de chancado es procesar el máximo tonelaje posible y reducir el tamaño del mineral recibido de la mina (conocido como *run-of-mine, tal como sale de la mina* o mineral *ROM*). El proceso de chancado es el primer paso en la trituración. Trituración es el proceso de reducir progresivamente el mineral a tamaños más finos. La reducción posterior ocurre en la planta de molienda de forma posterior.

El chancador tritura el material ROM y lo envía a la cavidad de compensación ubicada debajo del chancador. El circuito de chancado está diseñado para ser un sistema de chancado de Circuito Abierto (sin colar ni reciclar partículas de gran tamaño). El mineral chancado es sacado del depósito de compensación para tratamiento posterior en la operación de molienda.

3.1 Chancador Giratorio

3.1.1 Descripción técnica

Para entender el funcionamiento en detalle del chancador se debe caracterizar en distintas unidades. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los componentes principales del chancador giratorio y el material de fabricación. El cuerpo del chancador consiste de una estructura de acero fundido que incluye, en su parte más baja, el mecanismo de accionamiento. Este mecanismo se compone de la excéntrica (que produce el movimiento giratorio del eje principal y el manto), la corona y el conjunto del contra-eje (que incluye el piñón y su eje). La porción superior del chancador forma una superficie de chancado estacionario que consiste en una cámara de forma cónica compuesta de las secciones media y superior del casco. La cámara está revestida con pedazos de acero resistentes al desgaste llamados cóncavos.

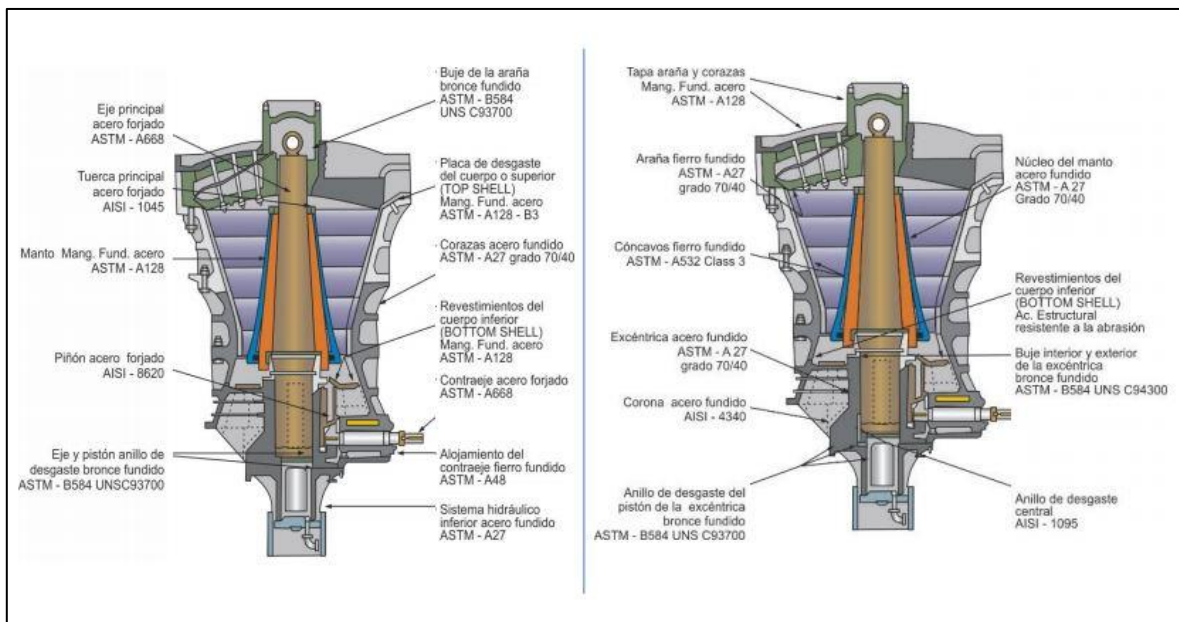


Ilustración 3-2: Especificaciones de parte y materiales del chador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011)

El conjunto del eje principal, con su manto, es la parte móvil fundamental del chancador. En la parte superior del chancador hay un sistema de soporte para el eje principal llamado la araña. El conjunto de la araña incorpora un muñón maquinado que sujeta el extremo superior del eje principal.

La araña es una sección de caja de acero fundido con un cubo en el centro y dos brazos completamente fundidos. Los extremos de los brazos son maquinados para encajar dentro de las cavidades del casco superior. Los pernos aseguran la araña al borde del casco superior, asentándola en la carcasa.

La carcasa y el eje principal están cubiertos con revestimiento de acero fundido llamados cóncavos en la carcasa, y mantos en el eje principal. Cuando el manto se desgasta el conjunto del eje principal se retira y se reemplaza por otro conjunto de eje principal reconstruido. El manto del eje principal removido puede luego ser reemplazado, listo para el siguiente recambio. El cambio de cóncavos se lleva a cabo en terreno, con el conjunto del eje principal debidamente removido. Las calzas de los cóncavos normalmente se reemplazan como un conjunto completo.

La parte del conjunto del eje principal en contacto con el mineral, es el manto. El manto es retenido en el eje principal por una tuerca de cabeza pesada. Esta tuerca se aprieta automáticamente. La acción del chancado tiende a girar la tuerca en la dirección que la aprieta. La cabeza chancadora se soporta como ya se había mencionado lateralmente en la parte superior del muñón de la araña.

Se usa aire para presurizar el área por sobre la excéntrica. Esta área se crea por una zona de cierre llamada cubierta del sello de polvo o Bonet. El núcleo se sella contra la cubierta del sello de polvo por un anillo en la parte inferior del núcleo. Este anillo del sello del polvo corre por el borde de la cubierta del sello de polvo. Al presurizar el área dentro de esta cubierta, se evita que entre polvo y que contamine el sistema de lubricación y la excéntrica.

Un sello partido de carbón y Teflón se instala en una ranura en el eje principal, encima de su muñón excéntrico. El sello recorre la perforación de la cubierta de polvo y contiene aceite salpicado desde el excéntrico.

En el extremo inferior del chancador, el muñón del eje principal pasa a través de la excéntrica. Este arreglo desajusta el extremo inferior del eje, con respecto a la línea central del chancador. Por lo tanto, cuando la excéntrica es girada por la corona, el extremo inferior del eje principal gira (se mueve hacia atrás y hacia adelante en movimientos circulares dentro de la cámara de chancado), progresivamente retrocediendo y aproximándose a las calzas de los cóncavos estacionarios.

La Ilustración 3-3 ilustra la acción chancadora. A medida que la cabeza chancadora retrocede desde el casco, caen grumos de mineral en la abertura. Al aproximarse nuevamente al casco, se rompen los grumos de mineral. La menor distancia entre el manto en movimiento y los cóncavos se llama *ajuste de lado cerrado* (CSS). Del mismo modo, la distancia más lejana entre el manto y los cóncavos se llama *ajuste de lado abierto* (OSS). El tamaño máximo de un pedazo de mineral descargado desde el chancador es aproximadamente igual al ajuste del lado abierto.

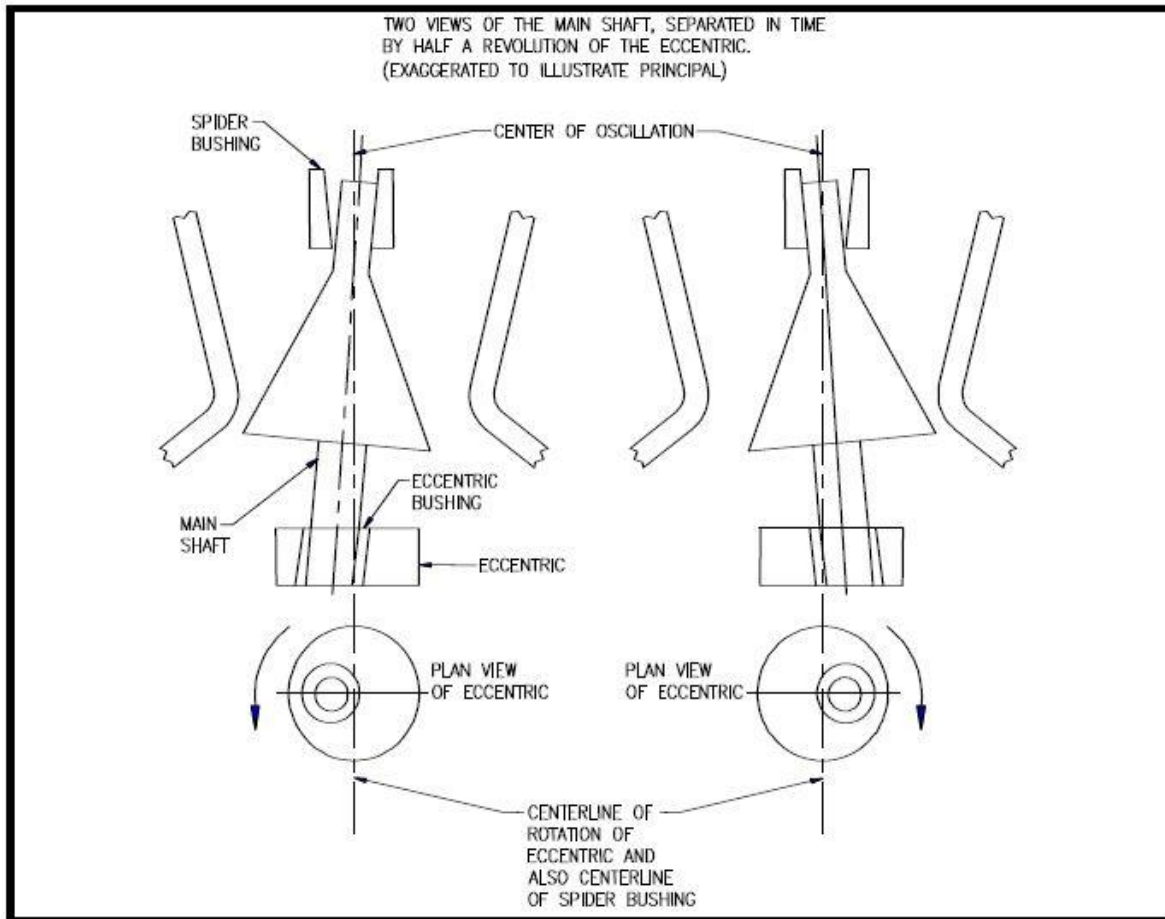


Ilustración 3-3: Movimiento chancador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011)

El eje principal es sostenido en su extremo inferior por un rodamiento de empuje. Este rodamiento es sostenido sobre un conjunto de pistón y cilindro hidráulico. El aceite queda atrapado bajo el pistón en el conjunto del cilindro. Al variar la cantidad de aceite, el eje principal se eleva o se baja para ajustar la proximidad del manto con relación a la cámara chancadora.

El tamaño del producto descargado desde el chancador se cambia subiendo o bajando el conjunto del eje principal, modificando así la relación (tanto el CSS como el OSS) del manto a la cámara chancadora. Esta capacidad se obtiene mediante el uso del sistema de ajuste hidráulico.

3.1.2 Descripción del chancador

El chancador a cuál se hace referencia en la presente investigación se trata de **“Gyratory Crusher, Model Fuller – Traylor 60” x 113” NT, Open Discharge”**, manufacturado por FLSmidth Inc. (Fuller - Traylor). El primer número en la designación de tamaño es la medida de la abertura de alimentación del chancador. El segundo número en la designación de tamaño es la medida en el diámetro más ancho en el fondo del manto inferior. Por lo tanto, un chancador giratorio de 60” x 113” (1525 mm x 2870 mm) tiene una abertura de alimentación de 60” (1525 mm) y un diámetro máximo del manto de 113” (2870 mm). El ensamble general del chancador, este equipo cuenta con una extensa lista de componentes los cuales se asocian en distintas secciones según información del proveedor (FLSMIDTH INC., 2011), como:

- Shell assembly
- Spider assembly
- Mainshaft assembly
- Mantle
- Concaves
- Eccentric assembly
- Bevel gear and pinon gear
- Mainshaft step bearing
- Eccentric support bearing
- Countershaft assembly
- Dust seal system
- Lubrication system
- Hydraulic mainshaft positioning system
- setting adjustment
- Spider lubrication system
- Main drive motor
- Direct drive
- Drive electrical motor
- Electrical motor crusher
- spider lubrication system
- Electrical motor hydraulic system
- dust air system
- Electrical motor eccentric cart
- hydraulic jacks

Para las especificaciones de cada sección consultar especificaciones de proveedor (FLSMIDTH INC. - AKERSOLUTION, 2018). Gran parte de los componentes se muestran en la Ilustración 3-4 que hace referencia a los componentes del cuerpo principal, el resto de componentes de los sistemas complementarios se muestran más adelante.

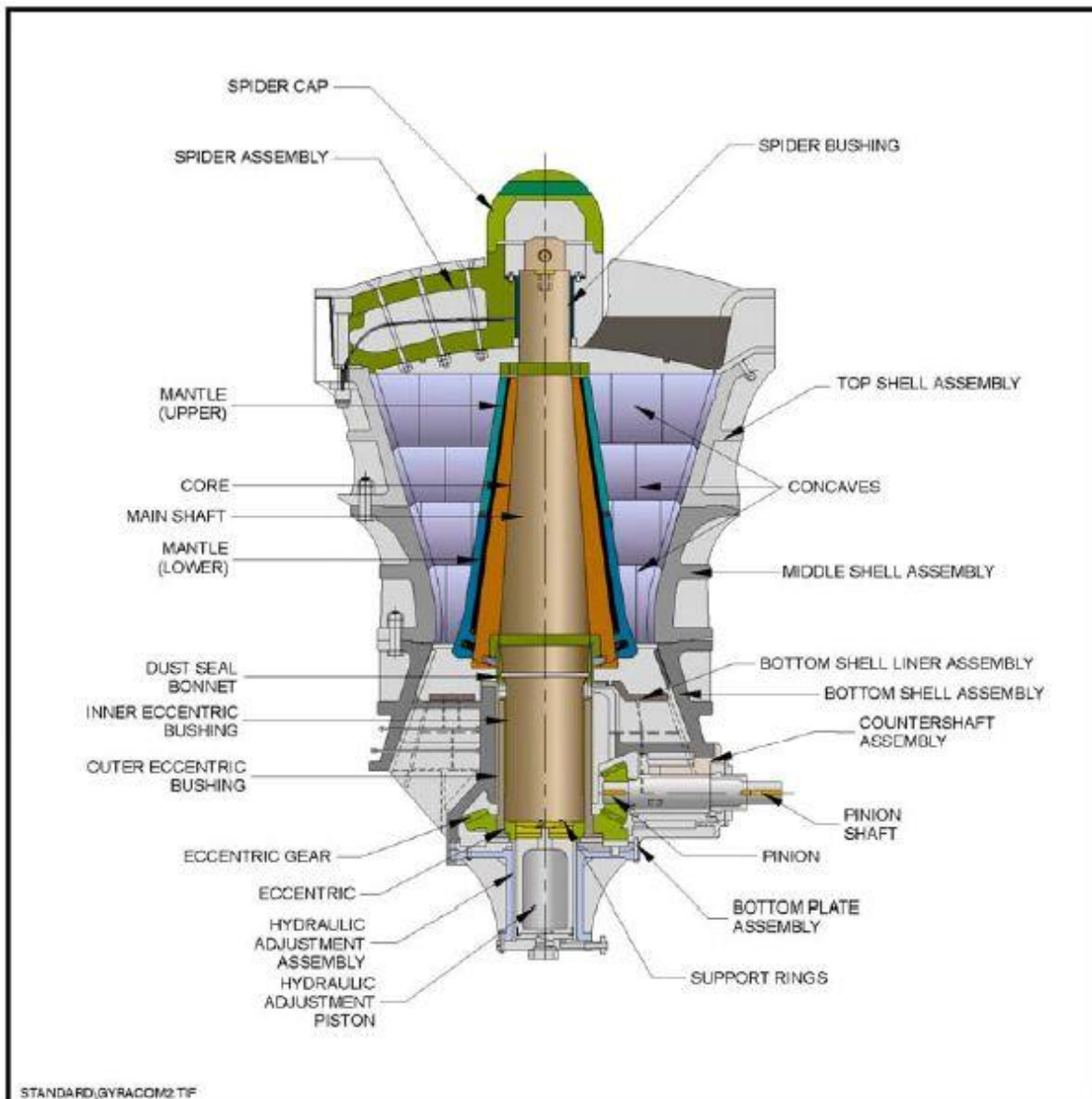


Ilustración 3-4: Estructura general del chancador (FLSMIDTH S.A., 2014)

De modo más general se puede establecer a modo practico una definición distinta de los elementos que conforman el chancador y más adecuada para la investigación, como se establece en la Ilustración 3-5, se puede definir de forma más simple el chancador como el cuerpo principal, sistema hidráulico, sistema de lubricación y equipo complementarios.

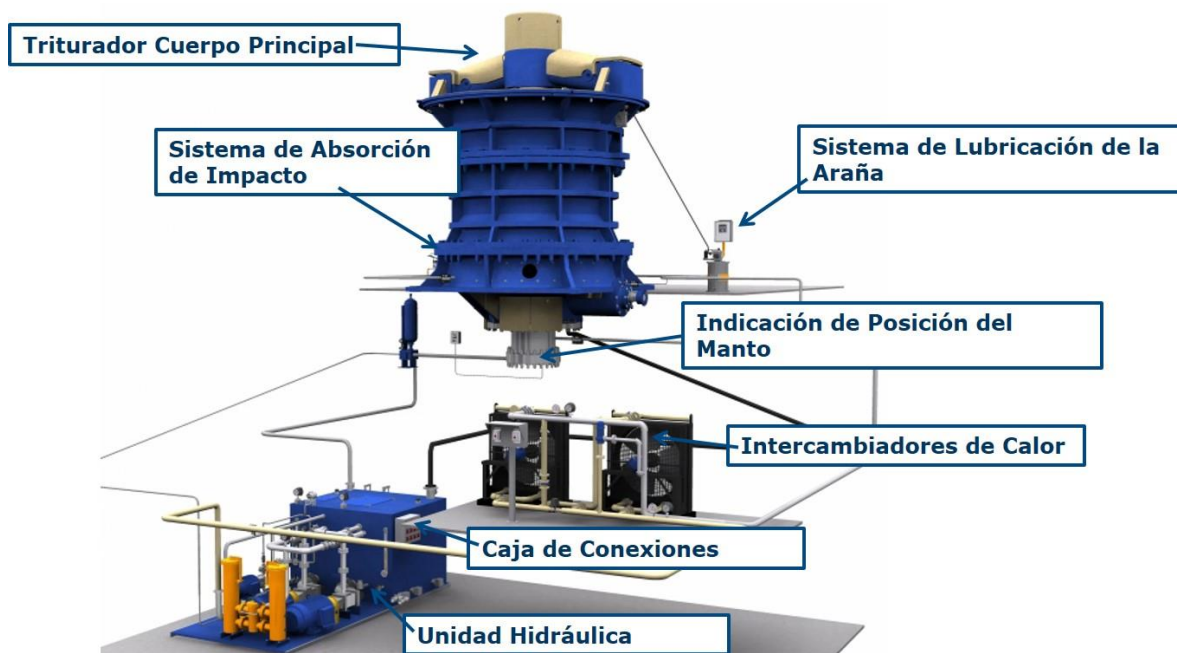


Ilustración 3-5: Componentes principales del chancador (FLSMIDTH S.A., 2014)

De un modo más específico, el cuerpo principal del chancado hace referencia a la parte que directamente se encuentra en contacto con la roca, es decir, la maquinaria en sí. Los elementos que componen el cuerpo principal son de carácter robusto pues tienen que soportar grandes esfuerzos provocados por el proceso mismo de conminución, como se presenta en la Ilustración 3-6 el cuerpo principal tiene referencia a los elementos mecanizados de donde se entiende que parte de ellos como araña, cóncavas y revestimiento del manto están frecuentemente enfrentados al desgaste, fenómeno característico de un equipo de estas características y proceso. También partes como Eje Principal, Manto, Bonet, Contra-eje, Excéntrica y Hydroset, son parte del funcionamiento del equipo y es donde se concentra las prácticas de mantenimiento para asegurar su funcionalidad. Y por último partes como araña y carcasa son parte de la estructura de soporte.

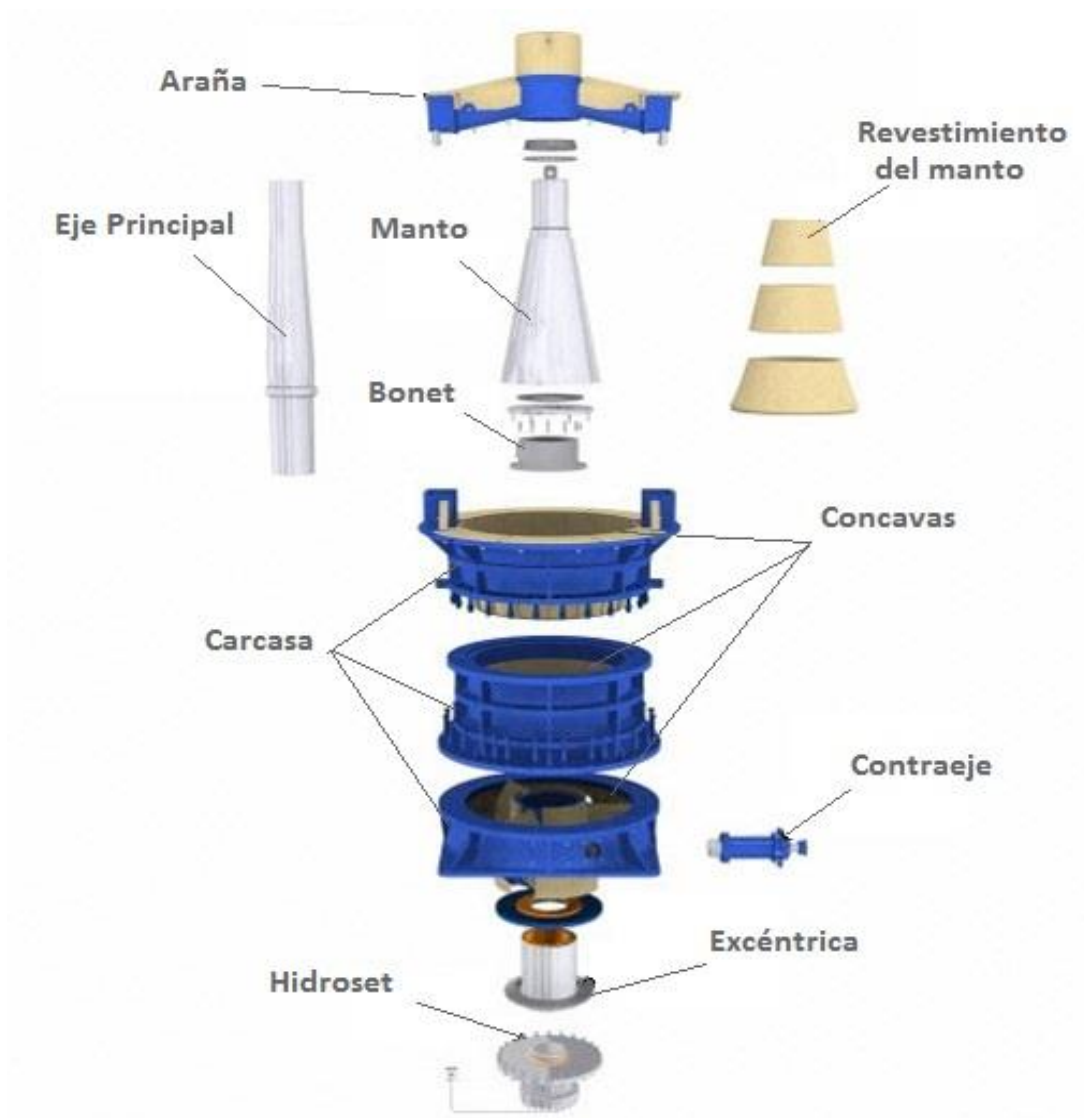


Ilustración 3-6: Componentes principales del cuerpo del chancador giratorio (FLSMIDTH S.A., 2014)

Realizando un repaso por las distintas partes de la estructura del chancador se puede encontrar la extensa serie de elementos que lo componen en distintos niveles, conocer estos distintos elementos, es de suma importancia para contextualizar los elementos, entender su funcionamiento, como también ubicación y así relacionar el mantenimiento que se le aplica a cada sección. Primero como se muestra en la Ilustración 3-7 la araña tiene partes con revestimiento y secciones selladas con la necesidad de ser lubricadas, es así como de forma

inmediata se pueden relacionar un mantenimiento tanto para su revestimiento, como para su unidad de lubricación.

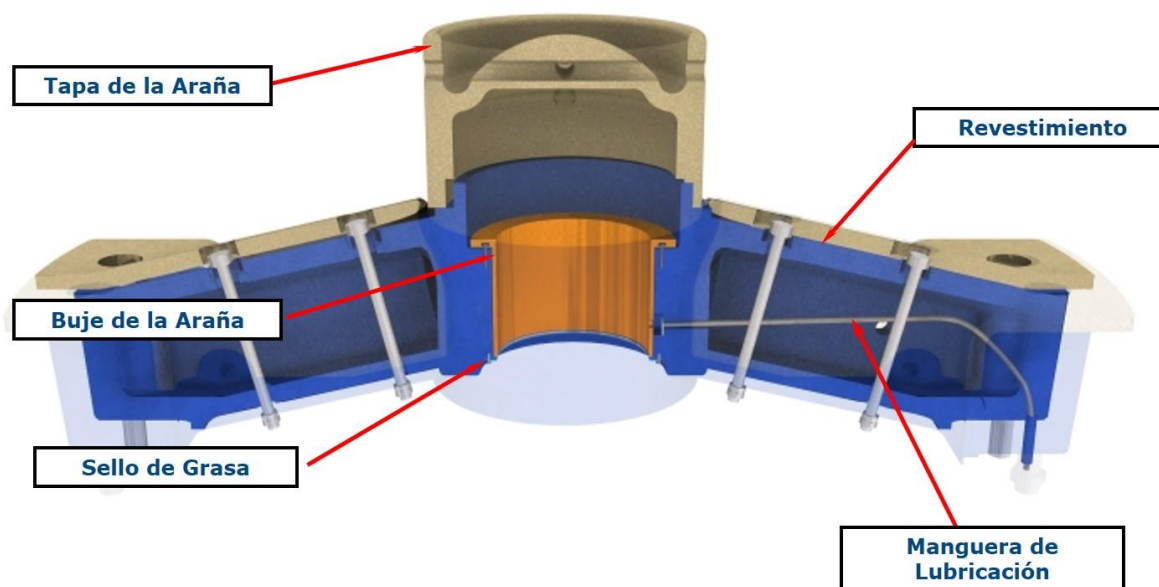


Ilustración 3-7: Conjunto en detalle de la araña (FLSMIDTH S.A., 2014)

De forma similar se extiende la caracterización al conjunto de la carcasa y cóncavas como se muestra en la Ilustración 3-8, donde se reconoce la estructura de soporte principal y más robusta como lo es la carcasa en sus distintas secciones y también el conjunto de cóncavas que son de los principales partes sometidas a desgaste, pues se encuentran en contacto directo con el mineral ROM, esto da a entender las consideraciones especiales que debe tener un plan de mantenimiento ante una unidad que se tiene certeza de su constante recambio, lo que hace posible el seguimiento y estudio de tendencia como velocidad de desgaste.

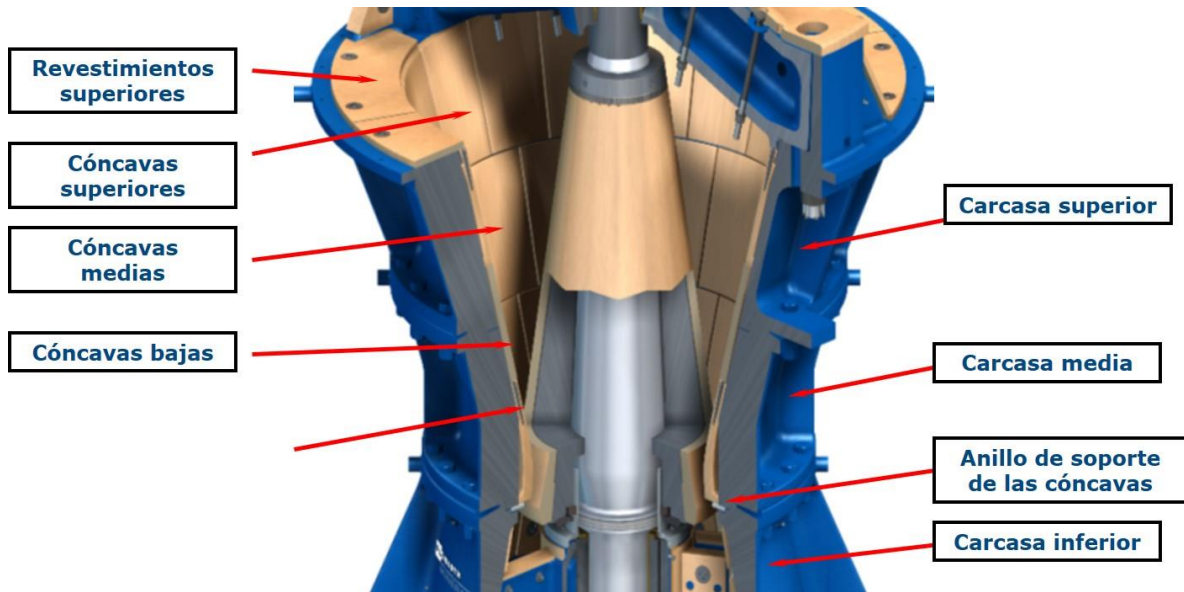


Ilustración 3-8: Conjunto en detalle de carcasa y cóncavas (FLSMIDTH S.A., 2014)

En la sección expuesta por la Ilustración 3-9 se hace visible nuevamente con dualidad de un conjunto como el manto que está expuesto al contacto con el mineral ROM y su interior, eje principal en si el cual es una de las piezas que obviamente requieren mayor cuidado pues representa la funcionalidad al chancador siendo esta la que se mueve para que el equipo cumpla su función. Es por esto que ya se puede comenzar a determinar los distintos tipos de mantenimiento a lo que tiene que ser sometido, por parte del manto una sección que está expuesta al desgaste al igual que las cóncavas y el eje principal sección que es móvil por lo cual requiere de una lubricación y un aislamiento para evitar contaminación que perjudique su funcionamiento.

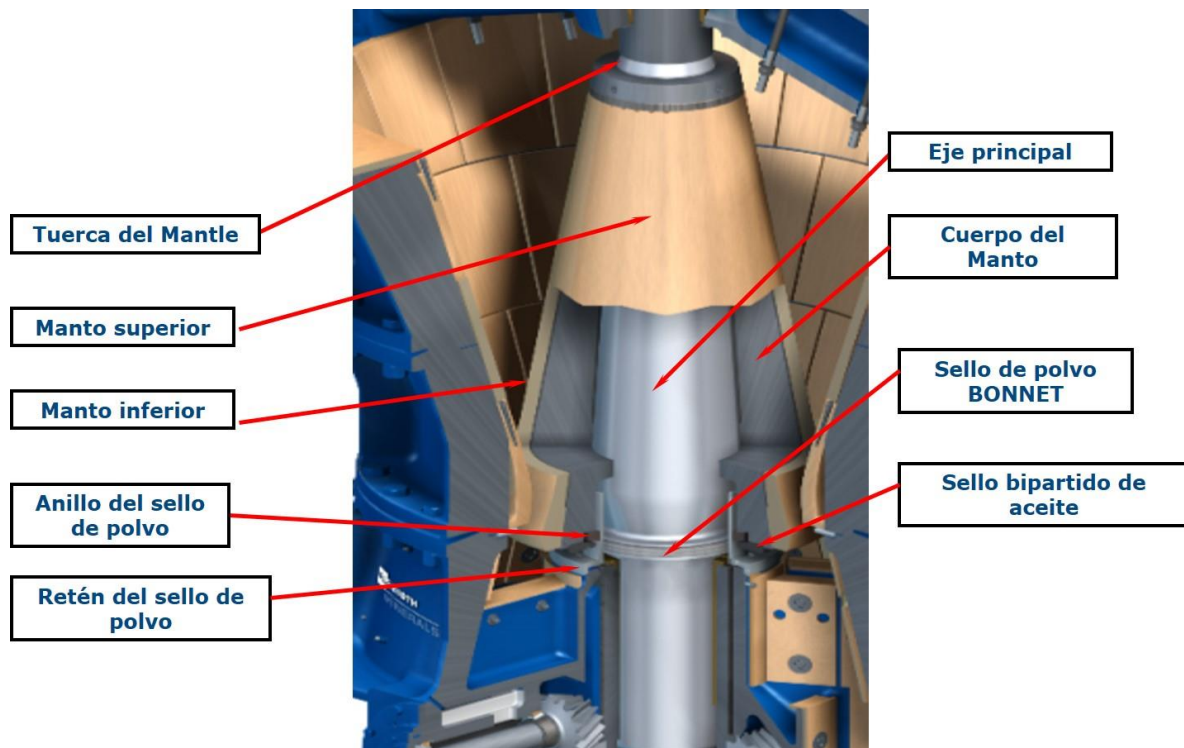


Ilustración 3-9: Conjunto en detalle del Eje Principal y su revestimiento (FLSMIDTH S.A., 2014)

Una sección más sensible del equipo se encuentra en la parte inferior del eje principal donde se conjugan los elementos que otorgan el movimiento al chancador, como es el caso del contra-eje, el encargado de transmitir la potencia al eje principal a través de la excéntrica y también el cilindro hidráulico el cual se encarga de determinar la posición vertical del manto, en la Ilustración 3-10 se presenta en detalle esta sección la cual por ser motora de movimiento obviamente se subentiende la necesidad de mantener libre de contaminación y bien lubricada para asegurar el funcionamiento, esto determina el tipo de mantenimiento que se le debe aplicar.

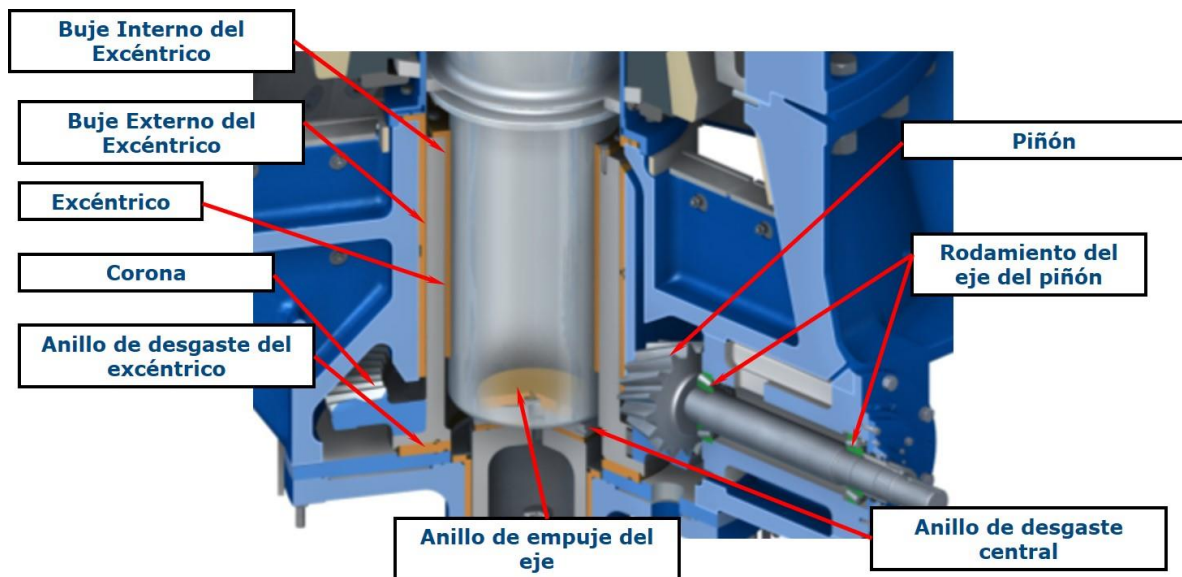


Ilustración 3-10: Conjunto en detalle zona inferior Eje Principal y componentes (FLSMIDTH S.A., 2014)

A modo de destacar elementos muy importantes del chancador como lo son sus ejecutores de movimiento en la Ilustración 3-11 se presenta el cilindro hidráulico o hydroset que como se mencionó determina la posición vertical del manto, como también en consecuencia las aberturas de salida (OSS y CSS) y además se presenta como una sección que otorga seguridad pues al poder modificar la altura permite liberar el equipo de trabamientos en la zona de salida.

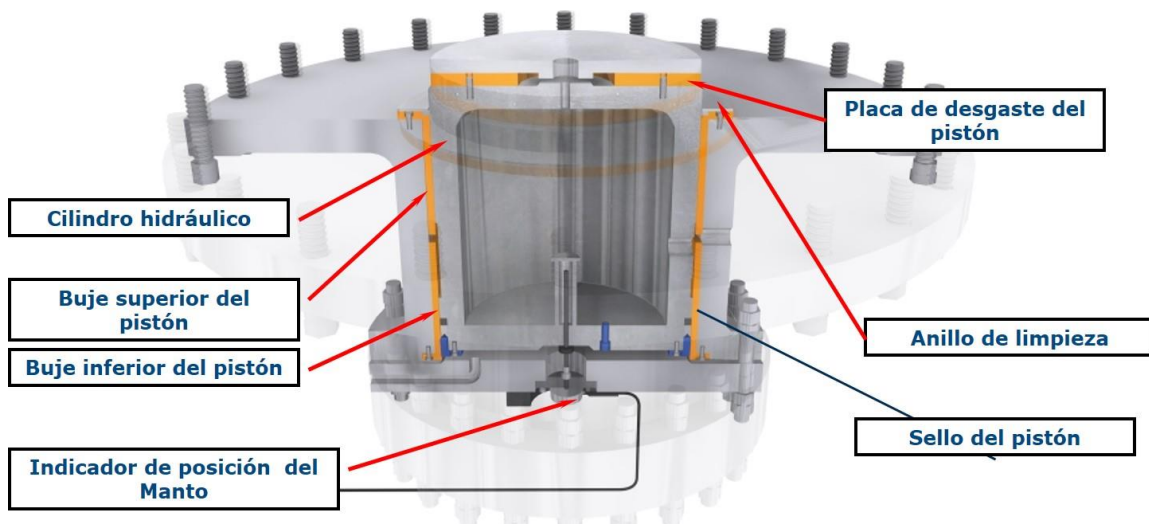


Ilustración 3-11: Conjunto en detalle del Cilindro Hidráulico o Hydroset (FLSMIDTH S.A., 2014)

Por su parte la Ilustración 3-12 presenta el contra-eje, elemento encargado de entregar la potencia al chancador, por un lado conectado a un motor y el otro al chancador, en específico a una corona dentada por el piñón que cuenta en la punta permitiendo que el eje principal presente su movimiento excéntrico, obviamente se trata de una pieza fundamental que debe asegurarse su funcionalidad y es ahí donde surge la necesidad de un mantenimiento bien enfocado.

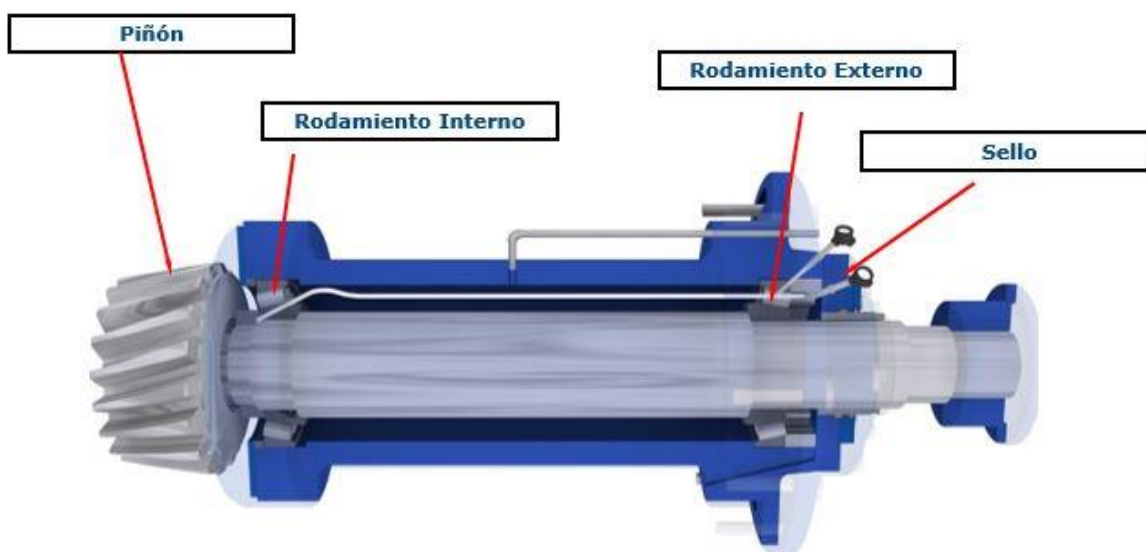


Ilustración 3-12: Conjunto del Contra-eje (FLSMIDTH S.A., 2014)

Cambiando totalmente y alejándose del cuerpo principal del chancador se encuentran los sistemas complementarios, pero no menos importantes, como se mencionó anteriormente se cuentan con varios elementos necesitados de lubricación es entonces necesaria la unidad de lubricación, como se muestra en la Ilustración 3-13 esta tiene elementos muy típicos como un estanque, bombas, filtros y el piping asociado además cumple con la función secundaria de enfriar, por tanto, se cuenta con un enfriador que mantiene el aceite lubricante a la temperatura necesaria.

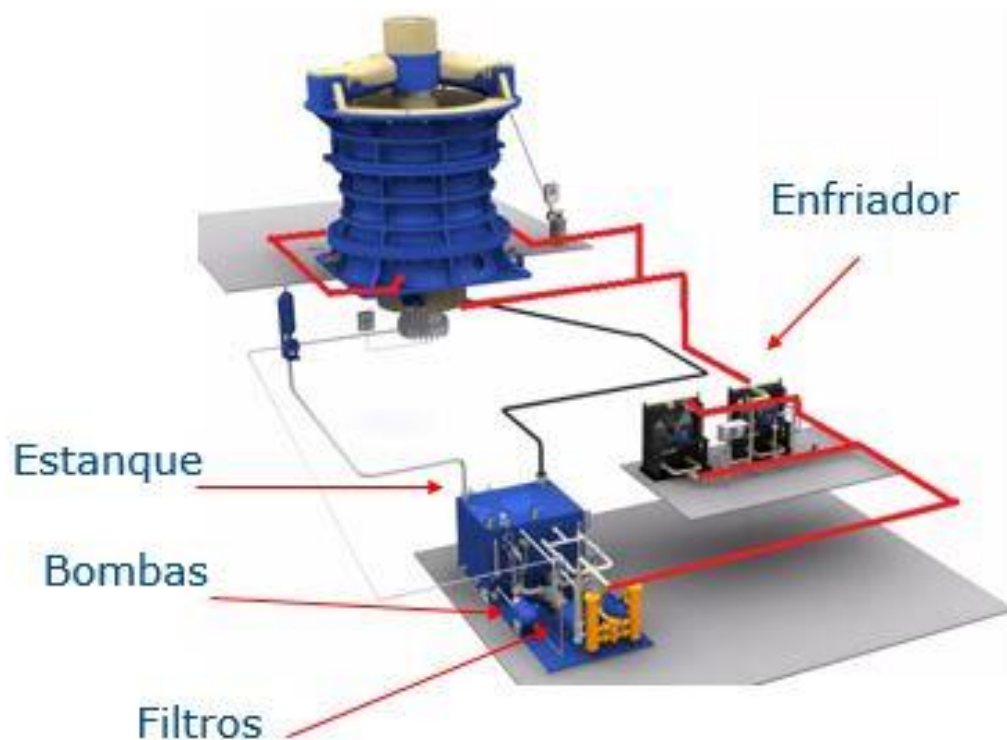


Ilustración 3-13: Conjunto de lubricación y enfriamiento (FLSMIDTH S.A., 2014)

De igual forma y por modelo constructivo la araña cuenta con su sistema independiente de lubricación como se muestra en la Ilustración 3-14, este sistema está enfocado en permitir el movimiento con el menor perjuicio posible de desgaste de en buje de la araña, sección que está constantemente sometida a esfuerzos por el hecho de soportar el eje principal llevar a cabo su movimiento excéntrico en el proceso de compresión del mineral.

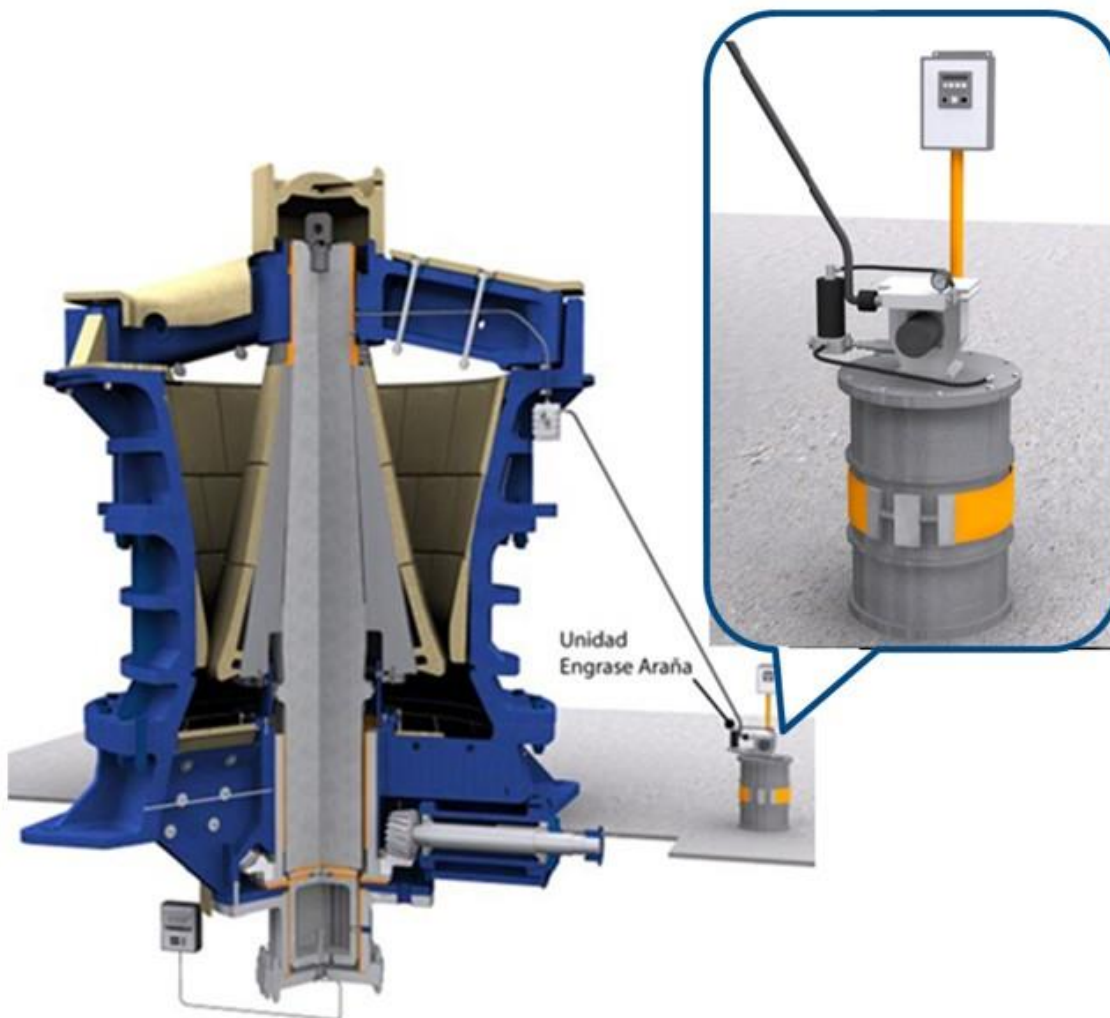


Ilustración 3-14: Conjunto de lubricación araña (FLSMIDTH S.A., 2014)

Y para terminar de definir las distintas secciones del chancador, el sistema hidráulico también cuenta con su diferenciación pues consta con una funcionalidad distinta, ya mencionada y asociada al movimiento como a la seguridad, mostrado en la Ilustración 3-15, donde se tiene el sistema proporcionando la movilidad al hydroset y un acumulador el cual es el sistema de seguridad, que en resumen contiene gas y tarado a cierta presión que se ser superada por efecto de un atoramiento del eje principal, permite el paso de aceite hidráulico destrabando la sección haciendo descender el cilindro hidráulico. Es claro que estas unidades complementarias son fundamentales para el funcionamiento por ende un foco principal a la hora de determinar mantenimiento y mejoras de este.



Ilustración 3-15: Conjunto de Sistema Hidráulico (FLSMIDTH S.A., 2014)

3.1.3 Característica del equipo

Regresando a un enfoque más técnico con respecto al chancador, el modelo específico, de una compañía específica, emplazado en un lugar específico, determina resolutivamente como es utilizado y mantenido, es por esto, que identificar de forma precisa el modelo del equipo permite establecer cuáles son sus condiciones de operación y mantenibilidad, para un futuro análisis. Siguiendo la línea de identificación del chancador primario se presenta en la Tabla 4 las características generales de identificación.

Tabla 4: Datos técnicos del chancador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011)

DATOS GENERALES TÉCNICOS		
Manufacturado	-	FLSmidth Inc. (Fuller-Traylor)
Nombre del equipo	-	Fuller-Traylor Gyratory Crusher
Tipo	-	Giratorio de descarga inferior abierta
Modelo	-	Tipo NT 60" x 113"
Área	-	Chancado Primario
Tamaño apertura de alimentación	mm	1.524
Altura total	mm	9.494
Ancho total	mm	7.608
peso total	kg	470.390
Carga dinámica	-	sin contrapeso / con contrapeso
Horizontal a la base de soporte	N	308.100 / 151.000
Momento en la base con plano vertical	N/m	1.133.000 / 151.000

El presente equipo cuenta con las características tabuladas si se habla de los requerimientos operacionales, los cuales cobran gran relevancia pues es la guía inicial, es decir, la condición de funcionamiento a la cual el mantenimiento debe apuntar, en la Tabla 5 se hace mención de estas distintas funcionalidades del equipo a nivel de diseño.

Tabla 5: Requerimientos operacionales del chancador giratorio (FLSMIDTH INC., 2011)

REQUERIMIENTOS OPERACIONALES		
Alimentación	-	Descarga de camiones
Método de alimentación	-	descarga por gravedad
Tasa de alimentación (seca)	T/día	105.000
Tasa nominal de alimentación (seca)	T/h	6.250
Tasa de alimentación por diseño (seca)	T/h	7.188
Tamaño máximo mineral de alimentación	mm	1.220
Tamaño mineral de alimentación recomendado	mm	279 -305
Tamaño mineral de descarga (a tasa nominal)	mm	155

Ciclo de trabajo	h/día	24
Capacidad utilizada	%	70
Disponibilidad (mínima)	%	92
Factor de diseño	-	1
Angulo de reposo	grados	37
OSS (tamaño de salida) recomendado	mm	178
Variación OSS (máx. /min.)	mm	254 / 178
Recorrido excéntrica	mm	45
Giros por minuto	-	123
Velocidad del eje del piñón	rpm	500
Potencia requerida del eje del piñón	kW	750

Como parte importante también de un análisis integral es la caracterización del material al cual será expuesto el equipo, claro está que esto influye en la mantenibilidad, pues es la función de conminución la que progresivamente aleja al chancador de su funcionabilidad original, haciendo necesaria la intervención sobre este para regresarlo lo más cercano posible a su funcionamiento diseñado, es en la Tabla 6 donde se muestra la descripción del mineral de forma básica desde la cual fue diseñado el equipo en análisis.

Tabla 6: Características del mineral ROM (FFE MINERALS USA INC., 2002)

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		
Característica del material	-	R.O.M.
Densidad aparente ROM material	T/m3	1,8
Densidad aparente material chancado	T/m3	1,6
Gravedad específica del mineral	-	2,7
Humedad en peso (base seca)	%	2
Índice de trabajo (referencial)	kWh/T	14,1

3.1.4 Sistema de lubricación y enfriamiento

El chancador primario está equipado con un sistema de lubricación circulante que incluye un sistema de enfriamiento. En la Ilustración 3-16 se muestra un sistema típico de lubricación y enfriamiento del chancador.

Las tres vías de envío de aceite en el chancador están equipadas con interruptores de flujo para detectar un flujo de lubricación bajo a sus respectivos puntos de lubricación. Un bajo flujo de lubricante a cualquiera de los tres puntos de envío, manda una señal de alarma al sistema de control, que cierra el chancador y el sistema de lubricación enclavados. Finalmente, la línea de retorno de aceite desde el chancador primario al depósito está equipada con un interruptor de temperatura de aceite que detiene el chancador enclavado si la temperatura del aceite de retorno es alta.

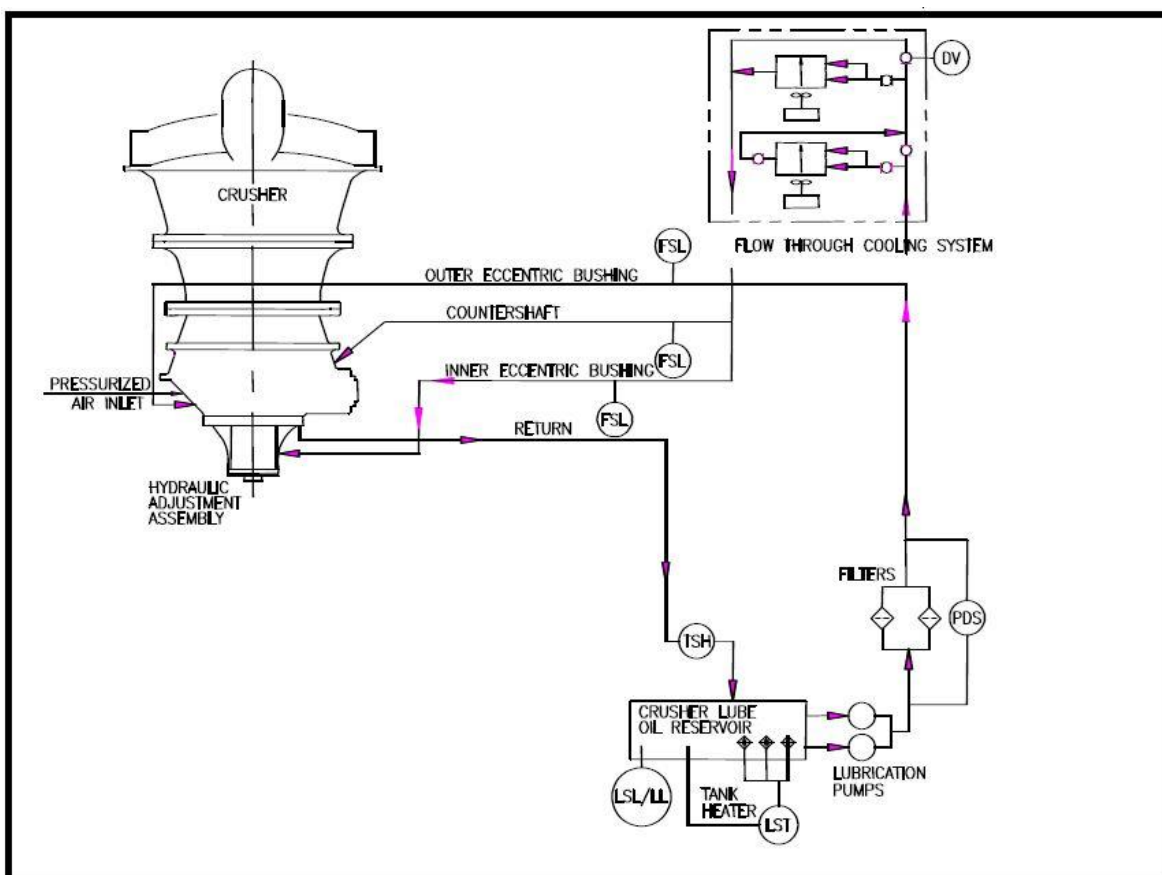


Ilustración 3-16: Sistema de lubricación y enfriamiento (FLSMIDTH INC., 2011)

El sistema de lubricación y enfriamiento del chancador giratorio, ilustrado en la Ilustración 3-16, suministra aceite lubricante a los cojinetes excéntricos y al accionamiento de los engranajes. El sistema de lubricación consiste en un depósito de aceite, dos bombas de lubricación una en operación mientras la otra está en reposo (stand by), un sistema de filtración de aceite y un sistema de enfriamiento de aire y aceite.

Los componentes del chancador son lubricados con aceite bombeado al chancador en tres puntos: el pistón de ajuste hidráulico, los rodamientos del contra-eje y el cojinete excéntrico exterior. El aceite que entra al pistón de ajuste hidráulico ingresa a un canal formado por los dos cojinetes del pistón. El pistón se llena de aceite a través de una compuerta. Una compuerta en la parte superior del pistón le permite al aceite fluir hacia arriba y lubricar el anillo de desgaste del pistón, el anillo de desgaste central, el anillo de desgaste del eje principal, el anillo de desgaste del excéntrico y el cojinete interior de la excéntrica. El aceite proveniente de la parte superior del excéntrico pasa a través de un pasaje y lubrica el piñón. El aceite regresa al colector a través de la línea de retorno del lubricante.

Se alimenta aceite lubricante directamente sobre el conjunto del contra-eje hacia un orificio tapado en el fondo de la carcasa. El aceite fluye hacia una bandeja en la caja del contra-eje, luego cae a un colector en la caja para lubricar ambos rodamientos de rodillo. El aceite que lubrica el rodamiento externo se descarga dentro de un orificio en la caja y regresa al colector de lubricación a través de las líneas de retorno de lubricante. El aceite que lubrica el rodamiento interno se descarga a través de dicho rodamiento y luego regresa al colector de lubricación a través de la línea de retorno.

El aceite que ingresa al chancador en el cojinete excéntrico exterior es transferido al cubo del fondo de la carcasa. El aceite pasa a través de los puertos maquinados en un canal en el cojinete excéntrico exterior, pasando entre el cojinete y la excéntrica y luego fluyendo hacia arriba a la parte superior de la excéntrica y hacia abajo, al engranaje cónico. Luego de lubricar el engranaje cónico y el piñón, el aceite retorna al estanque de lubricación a través de la línea de retorno del lubricante.

El depósito de aceite está equipado con calefactores controlados termostáticamente para mantener el aceite a una temperatura que le permita ser fácilmente bombeado. El depósito también está equipado con un interruptor de nivel de aceite que evita que la bomba de

lubricación se encienda cuando hay un nivel bajo en el estanque de aceite, y cierra las bombas si se el nivel desciende demasiado.

El depósito se divide en dos compartimientos. Estos dos compartimientos separan el aceite de retorno de la alimentación de la bomba para permitir la separación del aire del aceite y para evitar la estratificación del aceite.

La línea de suministro de aceite desde la bomba de lubricación al chancador, está equipada con un sistema de filtro de aceite. El sistema del filtro es un sistema dúplex, que corresponde a un par de filtros de aceite conectados en paralelo (uno de los filtros del par está en uso mientras el otro permanece en reposo). Se suministra un indicador visual y eléctrico para monitorear la presión diferencia a través del sistema de filtro. Cuando se alcanza una presión diferencial máxima, el filtro sucio se saca de servicio y se limpia.

El sistema de lubricación está equipado con enfriadores de aceite. El aceite desde la bomba de lubricación pasa a través del enfriador, hacia el chancador. Los motores de los ventiladores están controlados termostáticamente. Cuando el aceite en el estanque colector alcanza una temperatura superior límite, los motores del ventilador del enfriador se encienden y cuando el aceite se enfría a una temperatura aceptable, dichos motores se detienen.

3.1.5 Sistema de lubricación del cojinete de la araña

El cojinete de la araña del chancador tiene su propio sistema de lubricación de grasa. El sistema de lubricación de la araña consiste en un barril de grasa equipado con una bomba de grasa eléctrica o neumática. Para controlar la frecuencia de lubricación automáticamente, se utiliza un temporizador. El sistema de lubricación también puede ser operado en el modo Manual para llenar las líneas de grasa y lubricar los nuevos cojinetes de la araña, pero el modo normal de operación es Automático.

El sistema de lubricación de la araña está equipado con una alarma de estado para advertir al operador cuando ocurra una falla general del sistema y el chancador se detiene en el enclavamiento cuando ocurre tal falla. La Ilustración 3-17 muestra un sistema típico de lubricación de este tipo.

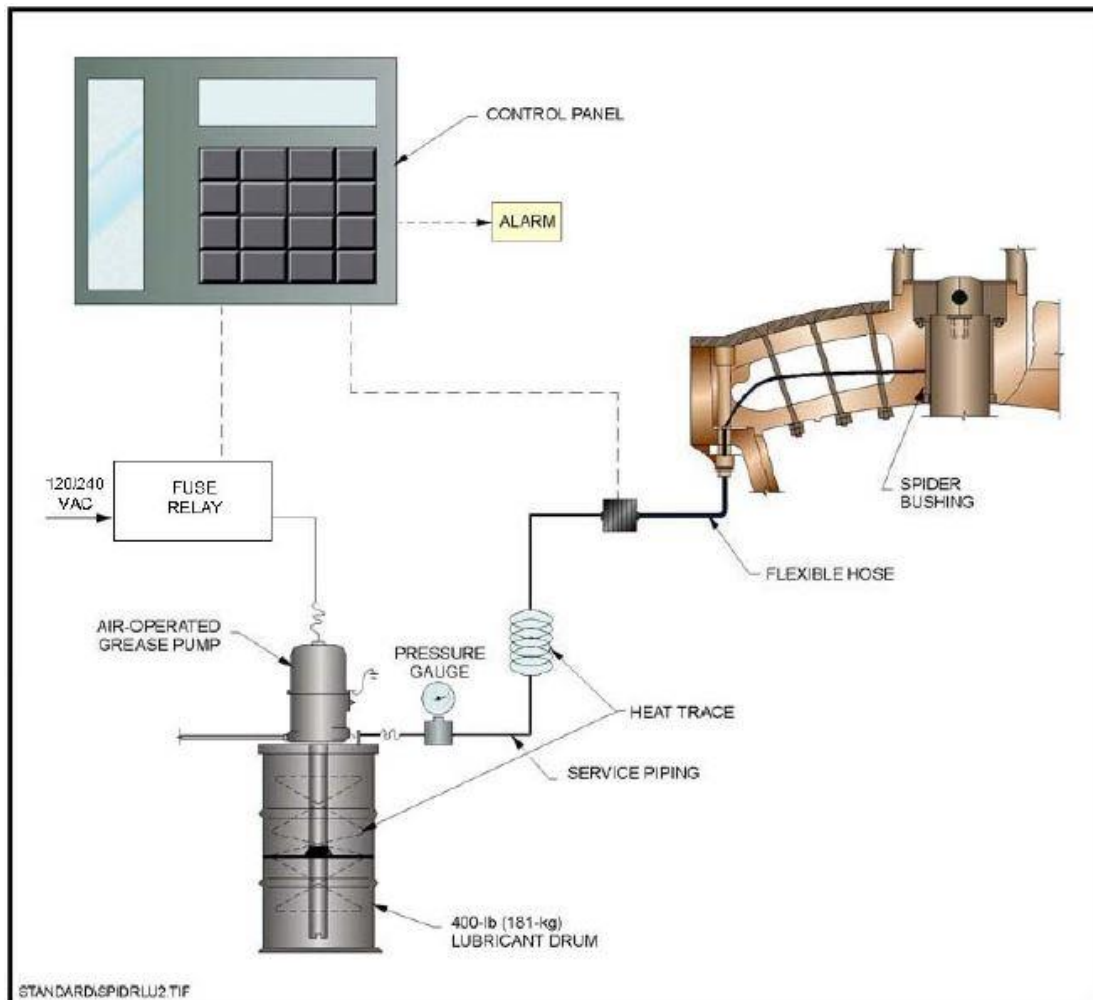


Ilustración 3-17: Sistema de lubricación araña (FLSMIDTH INC., 2011)

La bomba de grasa (ver Ilustración 3-17), que es activada por el controlador, bombea grasa hacia dentro del cojinete de la araña. Inicialmente en cada ciclo, la grasa llena cada inyector del sistema. A medida que crece la presión, los inyectores cambian y el continuo aumento de la presión fuerza la grasa, que previamente había llenado los inyectores, hacia el punto de lubricación. El último inyector activa un interruptor limitador que indica el término exitoso del ciclo y la bomba se detiene. Si la presión no logra acumularse, debido a la falta de grasa en el depósito o a una filtración en el sistema, el sistema enviará una alarma de condición falla de alimentación.

3.1.6 Sistema de ajuste hidráulico

El tamaño del producto chancado descargado del chancador es controlado por el sistema de ajuste hidráulico, que varía la altura del manto del chancador dentro de éste. Al variar la altura del manto se cambia la distancia entre el manto y los cóncavos del chancador, modificándose entonces el ajuste del chancador y el tamaño del producto chancado.

A medida que se desgastan el manto y los cóncavos, aumenta el OSS, aumentando asimismo el tamaño del producto chancado. Cuando éste se vuelve demasiado grande, el manto debe elevarse para disminuir el ajuste y reducir el tamaño del producto chancado. La Ilustración 3-18 ilustra los componentes y la operación de un ajuste hidráulico típico.

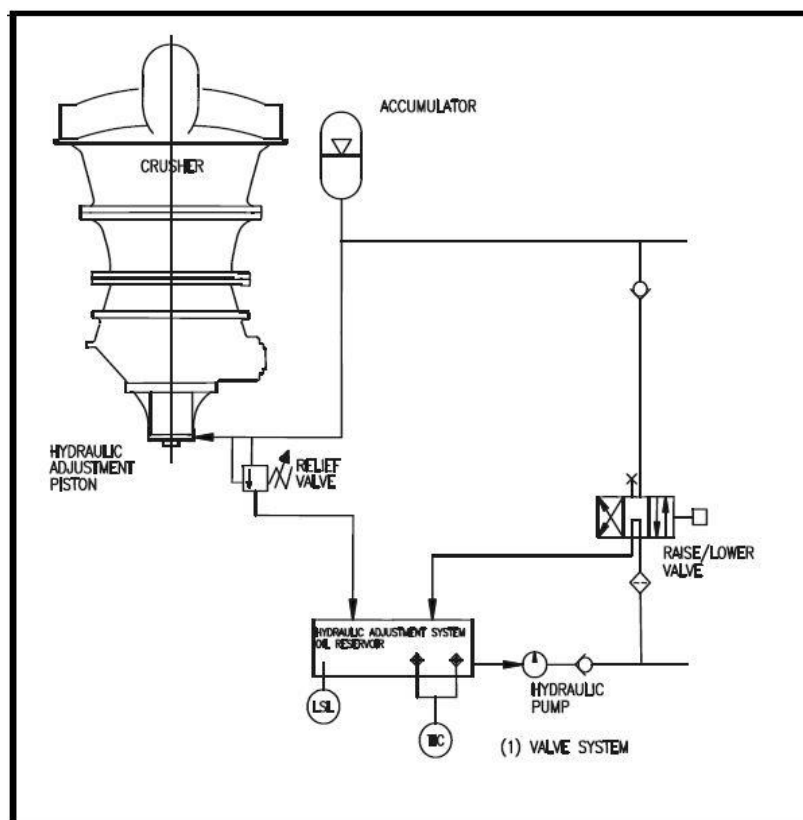


Ilustración 3-18: Sistema de ajuste hidráulico (FLSMIDTH INC., 2011)

Las partes principales del sistema incluyen el cilindro hidráulico y el conjunto del pistón, el sistema de suministro de aceite hidráulico y el acumulador hidráulico. El sistema de ajuste hidráulico efectúa tres importantes funciones:

- Sube o baja el manto según se requiera, para ajustar el chancador o para limpiarlo.

- Absorbe las cargas de impacto con el acumulador hidráulico, a medida que aumenta o disminuye la carga de chancado.
- Aumenta el OSS cuando un objeto no chancable pasa por el chancador.

Ajuste del Chancador el manto se eleva o se baja a fin de cambiar el ajuste del chancador para variar el tamaño del producto chancado o para despejar el chancador. A medida que el manto se mueve hacia arriba, la distancia entre el manto y los cóncavos del chancador disminuye. A medida que el manto se mueve hacia abajo, la distancia entre el manto y los cóncavos del chancador aumenta. La posición del manto se monitorea con un transmisor de posición que se muestra en la sala de control. El manto se puede subir o bajar desde un botón del panel de control local opcional en el chancador, o desde los controles en la sala de control del chancador primario.

Antes de subir el manto, se debe primero poner en marcha la bomba hidráulica del sistema de ajuste hidráulico. Se acciona la válvula de elevación para entregar aceite al pistón hidráulico por medio de la válvula de chequeo para levantar el manto. Para bajar el manto, la bomba hidráulica se apaga, la válvula de descenso se acciona para retornar el aceite desde el pistón hidráulico hasta el depósito.

La absorción de Impacto durante el chancado, las fuerzas en el sistema de ajuste hidráulico varían. Para suavizar los efectos de alta presión, el sistema de ajuste hidráulico se cuenta con un acumulador. El acumulador es un dispositivo de presión que contiene una cámara de goma con nitrógeno comprimido en un costado y aceite del sistema de ajuste hidráulico, en el otro. El nitrógeno es precargado en el acumulador a una presión que permitirá comprimir el nitrógeno una cantidad determinada cuando el peso del manto presurice el aceite al otro lado del pistón. Bajo condiciones estáticas, la presión en el lado del nitrógeno de la cámara iguala la presión en el lado del aceite de la misma, es decir, la taración. Las inyecciones de alta presión exceden la presión dentro del acumulador y el aceite es forzado hacia él, absorbiendo el efecto de la inyección de alta presión. Cuando se reduce la presión, el aceite fluye desde el acumulador de regreso hacia el cilindro del pistón de ajuste hidráulico.

3.1.7 Sistemas de indicación de posición del manto y complementarios

Se cuenta un sistema para monitorear la posición vertical del eje principal. Consiste de un sensor montado sobre un cilindro hidráulico de ajuste, un convertidor generalmente

soportado sobre la pared en el exterior de la cámara de descarga del chancador y un indicador montado en la consola del control.

La señal de eje principal / posición del manto se utiliza para controlar el tamaño del producto chancado y para indicar cuando la posición vertical del eje principal causa daño a los componentes del chancador, esta configuración se muestra en la Ilustración 3-19.

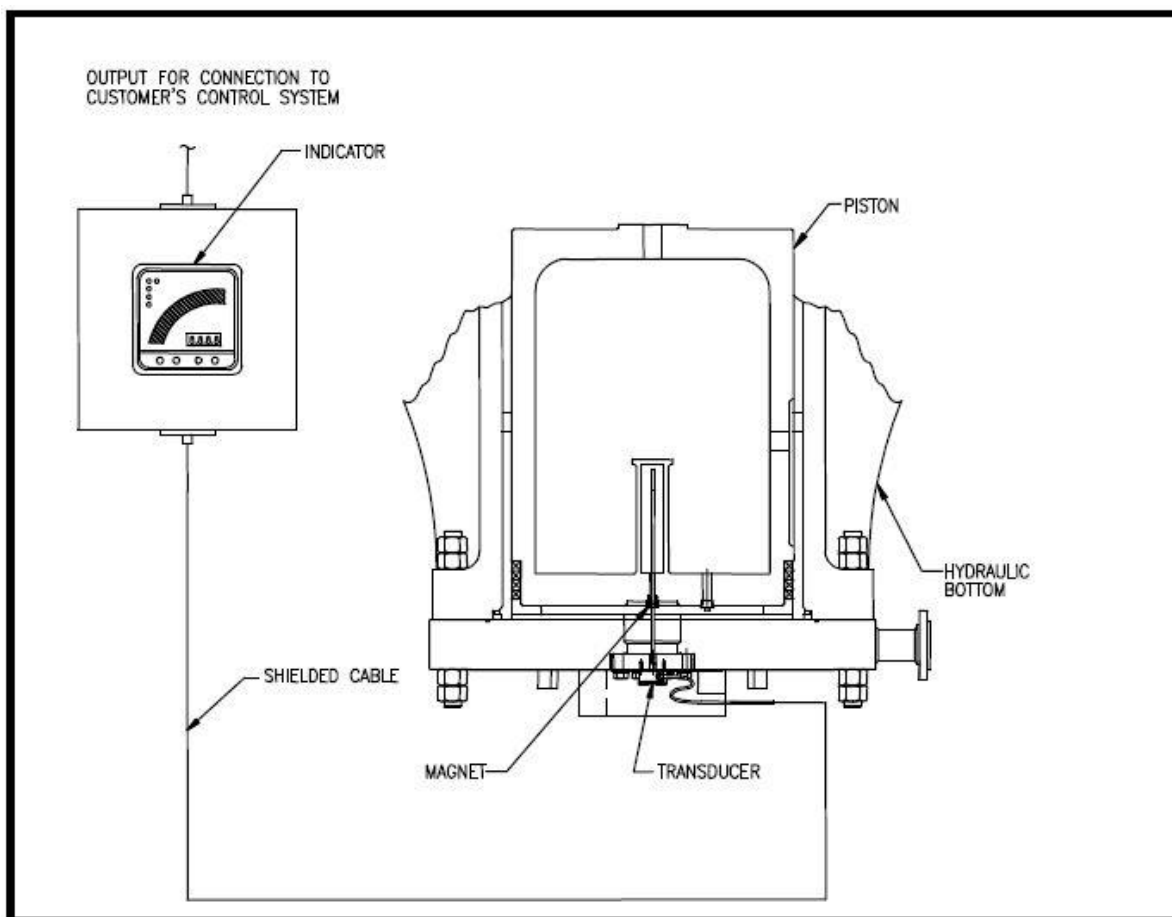


Ilustración 3-19: Sistema indicador de posición del manto (FLSMIDTH INC., 2011)

La altura del manto del chancador se muestra en pulgadas y milímetros. En ocasiones puede ser necesario hacer descender el manto para despejar el chancador luego de una falla de energía o cuando se tapa. Por lo tanto, el chancador no debe ser operado con el manto a menos de 50 *mm* de su máxima posición de descenso para asegurarse de que le quede algún espacio o distancia de recorrido de descenso disponible para esos efectos. Así mismo se establece una altura máxima de manto para evitar que colisione con el conjunto de la araña.

El indicador de altura del manto está equipado con alarmas para advertir si la altura del manto ha alcanzado la altura mínima o máxima permisible. Si el manto ha alcanzado la altura de nivel que activa la alarma y el tamaño del mineral chancado es demasiado grande, es una clara indicación que el manto del chancador o los cóncavos están gastados y necesitan reemplazarse.

Si el indicador de posición del manto muestra que éste ha descendido su posición, es una indicación definitiva de que la válvula de alivio ha sido activada debido a un trabamiento o al paso de un objeto no chancable.

Por parte de los sistemas complementarios son unidades que cumplen funciones muy específicas dentro del equipo, uno de ellos es el sello de polvo puede contar con un sistema de presurización para crear una atmósfera positiva por encima del excéntrico y su función es muy simple, mantener al eje principal y al excéntrico libre de polvo, está asociado principalmente en la sección del sello Bonnet. Otro de los sistemas complementarios es el sistema de puesta en marcha del chancador giratorio, el impulso principal es generado por un motor de Inducción de Rotor Devanado, las especificaciones de este motor se pueden encontrar en la referencia (FLSMIDTH INC. - AKERSOLUTION, 2018).

En el chancador giratorio el último sistema complementario se puede definir podemos dividir la instrumentación en los siguientes grupos:

- Instrumentación de Proceso.
- Instrumentación del propio Chancador.
- Instrumentación del Sistema Hidráulico.
- Instrumentación Impulso Principal.
- Instrumentación Lubricación de la Araña.

Los Instrumentos se encuentran ubicados en puntos críticos que requieren el monitoreo para una operación segura del chancador dentro de los parámetros de diseño, estos puntos como también los parámetros que se necesitan para hacer seguimiento se muestran en la Ilustración 3-20, donde se puede presentan parámetros necesarios de seguimiento como velocidad, temperatura, presión, caudal o posición.

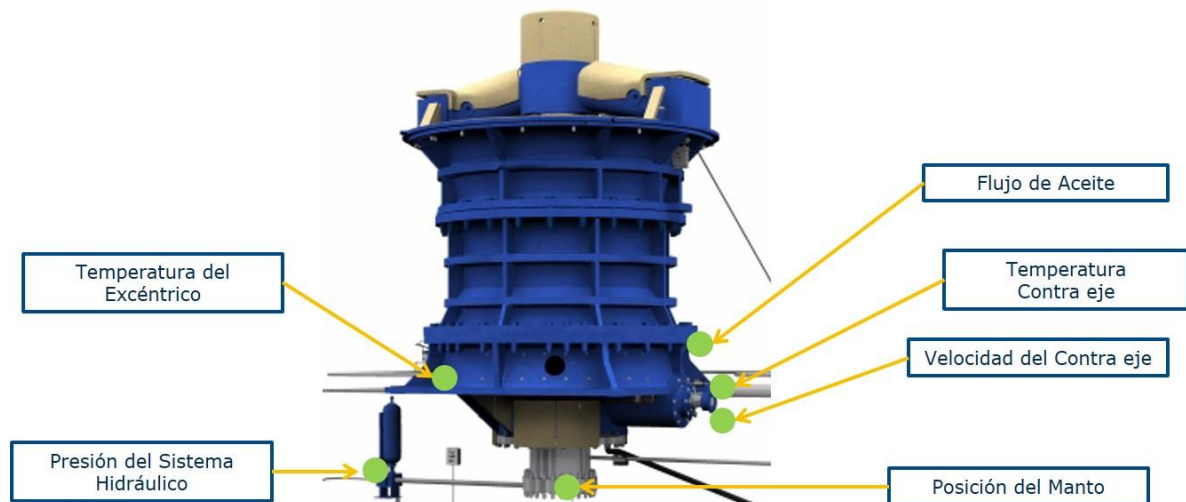


Ilustración 3-20: Posicion de medicion de parametros en cuerpo principal (FLSMIDTH S.A., 2014)

Los Instrumentos dispuestos para la medición de parámetros en las unidades complementarias al cuerpo del chancador se encuentran ubicados en puntos críticos que requieren el monitoreo para una operación segura, de igual forma en que en el cuerpo principal se hace indispensable un registro de indicadores como temperatura, presión o nivel para asegurar que el equipo funciona bajo condiciones indicadas, estos puntos son presentado en la Ilustración 3-21.

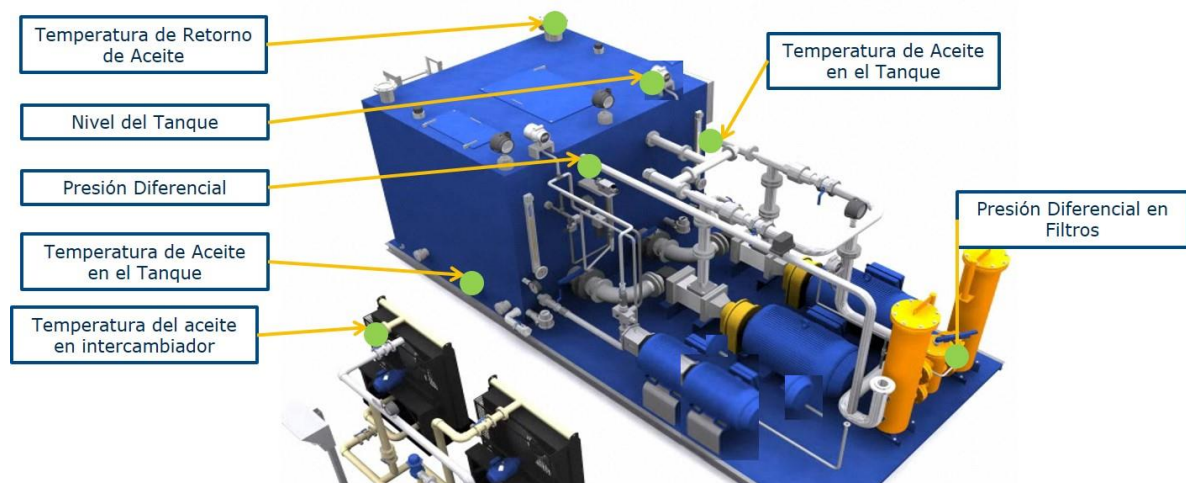


Ilustración 3-21: Posicion de medicion de parametros en sistema complementario (FLSMIDTH S.A., 2014)

4. Operación y análisis de criticidad del equipo

Una vez conociendo el equipo se puede realizar un análisis de comportamiento de este, según los intereses de la investigación, en este caso el foco está puesto en su operación de forma medioambientalmente responsable, para llegar a ese punto de análisis se debe realizar un repaso por su condición de operación y criticidad de funcionamiento y así representar el foco de gestión ambiental con la intención de no alterar de forma negativa el funcionamiento del equipo, en resumen, se busca mostrar la metodología de operación del chancador primario mostrando el componente crítico bajo este concepto para luego encontrar el componente crítico con mirada ambiental, con el objeto de proponer la mejora de mantenimiento con estos componentes como prioridad.

4.1 Operación

Aquí se describe la operación de un chancador giratorio y se menciona, pero se excluye los procedimientos para la inspección pre-operacional y para la puesta en marcha del equipo del chancador primario a partir de diferentes estados de preparación presentando en el manual de instalación y operación (FLSMIDTH INC., 2011). Estos procedimientos son:

- Inspección pre-operacional
- Puesta en marcha después de una detención completa
- Puesta en marcha después de una detención de espera o reposo
- Puesta en marcha después de una detención de emergencia
- Puesta en marcha después de una falla de energía

Se requiere una inspección pre-operacional de todos los equipos principales y auxiliares cada vez que se pone en marcha una parte del chancador primario después de una detención completa, además, el chancador primario requiere de los siguientes suministros su funcionamiento:

- Energía eléctrica

- Suministro de aire para el sello de polvo

Con respecto a las detenciones programadas, se puede poner en marcha parte del chancador primario después de que uno o más elementos del equipo se han detenido para mantención. En este caso, se debe realizar la inspección pre-operacional correspondiente en cada elemento del equipo en que se haya trabajado. Una vez terminada la inspección pre-operacional, se puede volver a poner en marcha el equipo del chancador primario mediante el procedimiento de puesta en marcha adecuado, dependiendo de mantención que se realizó.

Como medida de seguridad de los procedimientos pre-operacionales, el personal involucrado en el servicio y en áreas cercanas a los equipos del chancador primario que se va a poner en marcha, debe ser advertido. Los equipos del chancador primario no se deben poner en marcha hasta que los circuitos estén dispuestos para aceptar alimentación eléctrica. Los equipos de suministro de servicios del chancador primario deben estar funcionando antes de poner en marcha los equipos de proceso y la secuencia general de puesta en marcha es:

- Sistemas de lubricación del chancador primario.
- Sistema hidráulico del chancador primario.
- Equipos aguas abajo (descendientes).
- Motor de transmisión del chancador primario

La puesta en marcha después de una detención de reposo implica, esencialmente, los mismos pasos que la puesta en marcha después de una detención completa, pero como diferencia los servicios y los equipos auxiliares como de medición y control puedan estar funcionando. A modo de síntesis cada vez que se va a poner en marcha el equipo, se debe asegurarse de que el equipo está listo y que el personal que está trabajando en el área no esté demasiado cerca. De modo específico, se pueden especificar distintos modos de operación de un chancador primario.

4.1.1 Operación local

El sistema de lubricación del chancador primario, el sistema de lubricación de la araña y el sistema de ajuste hidráulico se pueden poner en marcha desde paneles de control local para efectos de mantención. Aunque la operación del chancador primario se realiza casi

completamente desde una consola de control, el operador en terreno puede ayudar al operador de la sala de control, mediante observaciones en terreno, acerca del tamaño del mineral, así como con una variedad de observaciones de la operación mecánica de los equipos.

4.1.2 Operación remota

Normalmente el chancador primario y equipos auxiliares se ponen en marcha, detienen y operan desde una consola de control, ubicada en una sala de control. La consola de control se usa para poner en marcha y detener los equipos, así como para monitorear el proceso, a través de sensores dispuestos en distintas partes del chancador.

4.1.3 Operación de mantención

No existen procedimientos especiales involucrados en la operación del chancador durante los periodos de mantención. Se debe cumplir con todos los controles y enclavamientos antes de operar el chancador. Durante los procedimientos de puesta en marcha y detención, no se debe recalentar el motor del chancador con puestas en marcha repetidas. Por lo cual es fundamental la buena programación de mantenimiento para así evitar detenciones.

4.2 Criticidad del equipo

Partiendo por la premisa de la necesidad de conservar la operación del equipo de la forma necesaria para mantener la confiabilidad del proceso y también considerar la responsabilidad ambiental. El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer una jerarquía a cierto nivel de un proceso, cuenta con una representación cuantitativa a través del impacto a algún o varios medios y frecuencia de ocurrencia, esta metodología se puede definir bajo los siguientes pasos.

4.2.1 Evaluación de método utilizado

Para validar la utilización del método de análisis de criticidad se debe realizar una breve evaluación para demostrar que es aplicable a lo buscado en la investigación, siendo el objetivo jerarquizar los componentes del equipo según la operación y responsabilidad medioambiental.

- **Naturaleza:** El método es de ponderación numérico según un criterio cualitativo.

- **Variables:** Las variables utilizadas son el listado de modos de fallas, efectos, consecuencias, frecuencia e impacto.
- **Ejecución:** Se debe investigar la información del equipo y conocer a profundidad las funciones para entregar las soluciones a las potenciales fallas.
- **Resultados:** Entrega una interpretación de la criticidad de los componentes según las categorías utilizadas.

La metodología denota una gran sincronía con lo buscado en el mantenimiento del equipo, es muy flexible y permite interpretaciones y modificaciones que permitan adecuar a las necesidades de cada análisis. Entregando y pidiendo detalle en cada proceso, siendo muy claro en su ejecución. A modo de limitantes es que se necesitan alto tiempo de información teórica y de operación técnica, de todas formas.

Se concluye que es apto para la investigación y los intereses de esta pues entrega las herramientas necesarias para alcanzar los objetivos de la investigación y poder catalogar tanto los componentes como los insumos y desechos.

4.2.2 Definición de nivel de análisis

Como primer paso se debe establecer la magnitud del análisis diferenciando distintos niveles como instalaciones, sistemas, equipos o elementos de equipo. Para el caso de la investigación se decreta el nivel de análisis en elementos de equipo y como ya fue mencionado se trata de un chancador giratorio de cono primario, donde luego de lo expuesto en la sección Descripción del área de chancado primario y equipo objetivo se puede extraer la lista de siguientes componentes:

- | | |
|--------------|-----------------------|
| • Araña | • Excéntrica |
| • Eje | • Cilindro hidráulico |
| • Manto | • Estanques |
| • Cóncavas | • Bombas |
| • Bonnet | • Radiadores |
| • Carcasa | • Acumulador |
| • Contra-eje | • Sellos |

- Mangueras
- Filtros
- Sensores
- Indicadores
- Controles
- Motor

Como las bases para iniciar el análisis, de aquí se extraerá la información sobre fallas para realizar un registro tanto de relevancia como frecuencia.

4.2.3 Definición de criticidad

La definición de criticidad es entregar valores cuantitativos a las fallas de los elementos según los parámetros de relevancia del foco de la criticidad, para la investigación se definen tres predominantes partiendo con la frecuencia, relevancia operacional e impacto ambiental.

De esta forma la frecuencia de ocurrencia determina la cantidad de eventos por año, estas estimaciones se tabulan en la Tabla 7 donde el concepto se presenta según análisis de modo de falla, efecto y criticidad (AGUILAR, 2010), pero adaptado para la realidad del equipo analizado y en base a la experiencia de operación del equipo de trabajo auspiciador.

Tabla 7: Valores de frecuencia (AGUILAR, 2010)

INDICE	FRECUENCIA	TABLA DE VALORES DE FRECUENCIA
1	Esporádica	Registro insuficiente
2	No frecuente	Menor igual a 0,5 eventos por año
3	Poco frecuente	Mayor a 0,5 y menor igual a 1 eventos por año
4	Frecuente	Mayor a 1 y menor igual a 2 eventos por año
5	Muy frecuente	Mayor a 2 eventos por año

Para los casos de estimación de impacto de las fallas se deben emplear criterios según lo buscado, para el mantenimiento de un chancador primario es importante el impacto

operacional y según el interés de la investigación el impacto medioambiental, sin provocar desmedro de uno sobre el otro. Para el caso de la operación se consideran tres principios:

- Impacto a la producción
- Daño del equipo
- Daño de la instalación

Esta estructuración de tabula en la Tabla 8, demostrando distintas importancias de cada falla en el proceso. De igual forma que la frecuencia esta categoría se basa en experiencia de la operación y del personal que lo operada (interno de faena) como también por parte de grupos externos que realizan servicio de mantención (personal de proveedor, ej.: FLS):

Tabla 8: Valores de impacto operacional (AGUILAR, 2010)

INDICE	RELEVANCIA	TABLA DE VALORES DE IMPACTO OPERACIONAL
1	Irrelevante	El tipo de falla no influye sobre el proceso.
2	No relevante	Proceso aceptable al límite de lo estándar.
3	Poco relevante	Proceso afectado y calidad no aceptable.
4	Relevante	Proceso muy afectado e inicio de riesgo
5	Muy relevante	Proceso no aceptable, Peligro para el personal.

En cambio, en conceptos medioambientales los principios responden a su propia necesidad y si bien no son constantemente considerados en procesos de mantenimiento, por interés propios de la investigación se presentan:

- Impacto al ambiente
- Impacto a la población
- Daño personal

Dando como resultado tras el análisis de distintas categorías como impacto en personas pasando desde el nulo impacto, precaución, daños, incapacidad y muerte. Por el lado del ambiente se recorre de forma similar el nulo impacto, daño mínimo, daño por sobre lo legal

y daño irreversible. El resultado se tabula y se presenta en la Tabla 9 en base a ejecución propia y lo presentado por Aguilar (AGUILAR, 2010).

Tabla 9: Valores de impacto ambiental (AGUILAR, 2010) y (elaboración propia).

INDICE	RELEVANCIA	TABLA DE VALORES DE IMPACTO AL MEDIOAMBIENTE
1	irrelevante	No afecta al medio ambiente
2	No impacta	Daños menores y reparables
3	Poco impacto	Daño apreciable al ambiente y personas
4	impacta	Daños graves
5	Mucho impacto	Daños irreparables al medio ambiente

4.2.4 Cálculo de nivel de criticidad

Para determinar el nivel de criticidad de los elementos del chancador de debe emplear una fórmula:

Ecuación 1

$$Criticidad = frecuencia \times Consecuencia$$

Donde la consecuencia puede ser remplazada por distintas categorías, en el caso de la investigación tanto el impacto operacional y medioambiental. Una vez obtenido el valor de criticidad este se busca en un matriz, presentada en la Ilustración 4-1: Matriz de criticidad Ilustración 4-1, que se presenta bajo la referencia de análisis de criticidad (AGUILAR, 2010), se identifican tres niveles de criticidad representados con colores y valor, donde verde es baja criticidad, amarillo es media criticidad y rojo es alta criticidad, este último es donde se deben concentrar los esfuerzos de mejora, sus rangos de valor son:

- Baja: $1 \leq criticidad < 5$
- Media: $5 \leq criticidad < 10$
- Alta: $10 \leq criticidad < 25$

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Ilustración 4-1: Matriz de criticidad (AGUILAR, 2010)

4.3 Análisis modo de falla

El análisis de modo de falla entrega una gran flexibilidad de ejecución debido a las diversas formas de efectuarlos, para efectos de la investigación se define un modo de falla para cada componente definido con anterioridad en la sección 4.2.2, entregando las consecuencias o efectos a nivel local, mayor y final, siendo este último siempre dirigido a la no funcionalidad del equipo. En la Tabla 10: Modos de fallas operacionales se presenta lo recién menciona en una lista de los veinte elementos en que se puede resumir el equipo de chancado primario.

Tabla 10: Modos de fallas operacionales (elaboración propia)

Componente	Función	Modo de falla	Efecto local	Efecto mayor	Efecto final
Araña	Sujeción del eje	Gripaje	No permite movimiento	Fractura	Chancador no opera
Eje	Movimiento principal	Atollo	No gira adecuadamente	Fractura	Chancador no opera
Manto	Chancado	Desgaste	No comprime	Mineral no chancado	Chancador no opera
Cóncavas	Chancado	Desgaste	No comprime	Mineral no chancado	Chancador no opera
Bonnet	Aislación polvo	Rotura	Contaminación	Perdida de ajuste	Chancador no opera
Carcasa	Soporte estructura	Soltura	Estructura inestable	Colapso de estructura	Chancador no opera
Contra-eje	Transmisión de potencia	Traba	Potencia disminuida	Ruptura	Chancador no opera
Excéntrica	Guía de giro	Traba	Movimiento inadecuado	Ruptura	Chancador no opera
Cilindro hidráulico	Altura del eje	No sostiene	Altura inadecuada	Perdida de ajuste	Chancador no opera
Estanques	Almacenamiento de aceite	Fuga	Perdida de aceite	Mala lubricación	Chancador no opera
Bombas	Impulsar aceite	Sin potencia	Flujo inadecuado	Mala lubricación	Chancador no opera
Radiadores	Enfriamiento de aceite	Detención	Temperatura inadecuada	Mala lubricación	Chancador no opera

Acumulador	Regula apertura y seguridad	Fuga	No activación	Ruptura de eje	Chancador no opera
Sellos	Aislación	Rotura	Contaminación	Mala lubricación	Chancador no opera
Mangueras	Guía de fluido	Fugas	Perdida de aceite	Mala lubricación	Chancador no opera
Filtros	Filtración de fluido	Saturación	Contaminación	Mala lubricación	Chancador no opera
Sensores	Registro de parámetro	Desconexión	No registro	Mal funcionamiento	Chancador no opera
Indicadores	Traducción de parámetro	Desconexión	Información inadecuada	Mal funcionamiento	Chancador no opera
Controles	Ajuste de parámetros	Desconexión	Parámetros erróneos	Mal funcionamiento	Chancador no opera
Motor	Generación de potencia	Sin potencia	Potencia inadecuada	Mal funcionamiento	Chancador no opera

Esta etapa es la columna vertebral del análisis, pues en base a los elementos y sus fallas funcionales expresadas de forma abreviada, se puede jerarquizar a través del concepto expuesto en la 4.2.3 y determinar los elementos críticos según la categoría necesaria.

Como ya fue expuesto a través de recopilación de información de servicios de mantenimiento de la unidad de chancado primario tanto por parte de empresas de servicios y experiencia de la propia operación en faena se otorga ponderación a tres conceptos, frecuencia, impacto operacional e impacto ambiental, bajo la graduación de la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 correspondientemente. Con el fin de jerarquizar se utiliza como base la Ecuación 1, dando origen a la criticidad operacional, bajo la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$\text{Criticidad operacional} = \text{frecuencia} \times \text{impacto operacional}$$

De igual forma se da forma a través de la frecuencia e impacto ambiental, la ecuación para criticidad ambiental.

Ecuación 3

$$\text{Criticidad ambiental} = \text{frecuencia} \times \text{impacto ambiental}$$

Y, por último, para tener la visión del sistema completa se define la ecuación que otorga la definición de criticidad total.

Ecuación 4

$$\text{Criticidad total} = \text{frecuencia} \times (\text{impacto operacional} + \text{impacto ambiental})$$

La ya mencionada definición de valores cuantitativos para el impacto según categoría, frecuencia y ponderación de valores se expresan la Tabla 11, dando una identificación numérica a cada componente en representación de su modo de falla según la Tabla 10.

Tabla 11: Valores y ponderación de sección (elaboración propia)

ID	Componente	Frecuencia	Impacto operacional	Impacto ambiental	Criticidad operacional	Criticidad ambiental	Criticidad total
1	Araña	3	5	2	15	6	21
2	Eje	4	5	2	20	8	28
3	Manto	5	4	4	20	20	40
4	Cóncavas	5	4	4	20	20	40
5	Bonnet	3	3	3	9	9	18
6	Carcasa	1	3	2	3	2	5
7	Contra-eje	3	4	2	12	6	18
8	Excéntrica	3	4	2	12	6	18
9	Hydroset	4	4	3	16	12	28
10	Estanques	3	2	3	6	9	15
11	Bombas	3	3	4	9	12	21
12	Radiadores	2	2	2	4	4	8
13	Acumulador	2	4	2	8	4	12
14	Sellos	2	3	2	6	4	10
15	Mangueras	2	3	3	6	6	12
16	Filtros	2	2	2	4	4	8
17	Sensores	3	3	1	9	3	12
18	Indicadores	1	3	1	3	1	4
19	Controles	1	3	1	3	1	4

20	Motor	2	4	2	8	4	12
----	-------	---	---	---	---	---	----

Habiendo definido una ponderación de criticidad total se debe redefinir los parámetros de criticidad:

- Baja: $1 \leq \text{criticidad} < 10$
- Media: $10 \leq \text{criticidad} < 20$
- Alta: $20 \leq \text{criticidad} < 50$

Expuesto según la Ilustración 4-2: Matriz de criticidad total donde se representa los valores numéricos de la criticidad total donde los parámetros involucrados son la frecuencia como impacto operación y ambiental, expuesto en la Ecuación 4.

		CONSECUENCIA									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FRECUENCIA	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	21
	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Ilustración 4-2: Matriz de criticidad total (AGUILAR, 2010) y (elaboración propia)

El análisis de modo de falla que tiene su origen en la metodología RCM (MOUBRAY, 2004) tiene como finalidad entregar el modo de falla más crítico, para así seguir su metodología y entregar una mitigación, pero en la investigación se tiene como foco el tratamiento medioambiental y la utilización de esta metodología es solo para encontrar un criterio de jerarquía. Ahora bien, teniendo los valores de criticidad según categoría, la jerarquización del riesgo en estricto rigor se presenta en la Ilustración 4-3 el cual es un histograma donde se muestra que componente del equipo analizado según su falla funcional única presenta mayor impacto.

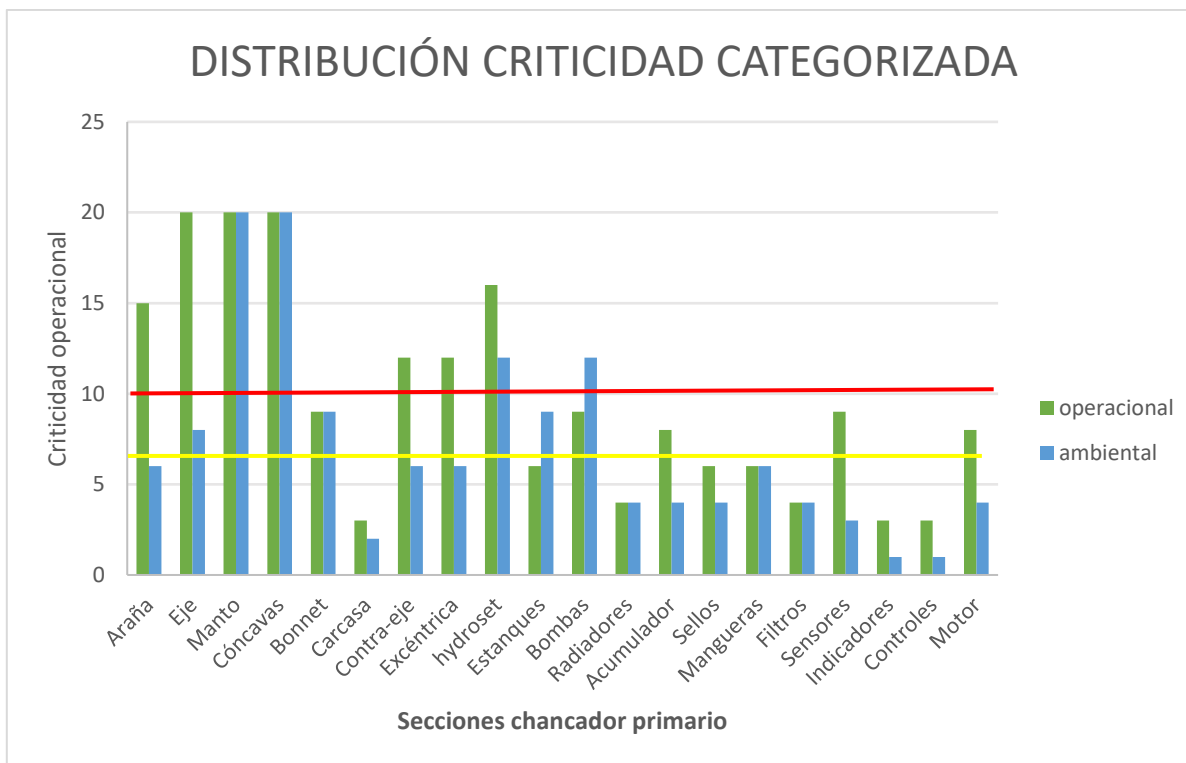


Ilustración 4-3: Distribución de criticidad categorizada de componentes (elaboración propia)

Para el caso de la categoría de operación los críticos responden a la siguiente jerarquización:

1. Manto
1. Cóncavas
2. Eje
3. Hydroset
4. Araña
5. Contra-eje
5. Excéntrica

Haciendo la aclaración que en el caso de igual en valorización se considera más crítico los con mayor frecuencia de evento, de no poseer diferencia de frecuencia y tener la misma ponderación estos compartirán la posición de criticidad. Por otro lado, también se presenta la categoría de medioambiente, de donde se obtiene la siguiente jerarquización de componentes:

1. Manto
1. Cóncavas

2. Hydroset

3. Bombas

El comportamiento de las categorías es bastante predecible a los focos que se expusieron puesto que en el caso de la operación ratifica como críticos a elementos que son propios de la funcionalidad del chancador, como lo son manto y cóncavas que son los elementos que entran en contacto con el mineral y son considerados como elemento de desgaste pues su diseño es para un remplazo bajo esta característica, además más abajo en la jerarquización tanto el eje, hydroset, araña, contra-eje y excéntrica tienen directa relación con el propio movimiento del equipo, lo que hace sentido de su importancia en una evaluación de operatividad.

Así mismo, desde el foco ambiental se mantiene como principales el manto y cóncavas, pero esta vez mas allá de responder a una cuestión de funcionabilidad, hace caso a su disposición final pues al tratarse de un elemento de desgaste que se tiene preparado su uso, definiendo un límite para ello, estos elementos también conocidos como revestimiento no se consumen completamente si no que hasta un límite utilizable y después de su recambio son desechados, de aquí su impacto ambiental. Por otro lado, los siguientes elementos en la jerarquización son el hydroset y las bombas de referencia en los sistemas de lubricación y de cilindro hidráulico, esto responde a algo ya esperado pues son elementos en directa relación de función de aceite de uso industrial que de por sí y por regulación legal debe tener un tratamiento especial tanto en el uso como en su disposición final.

Este simple análisis entrega una justificación metódica, a través de la interpretación de sus resultados una guía de que insumos y desechos se deben fijar las consideraciones medioambientales del uso de los insumos y desechos en la estrategia de mantenimiento, es decir, enfocar la programación y proponer acciones tanto en el remplazo de revestimientos de manto y cóncavas como en los programas de lubricación. De esta forma a modo más general se puede establecer un símil de análisis sobre la Ecuación 4, que presenta una criticidad conjunta representada por elemento por el histograma de la Ilustración 4-4, de donde se espera que y acontece finalmente una rarificación de los elementos más críticos para el equipo de chancado primario.

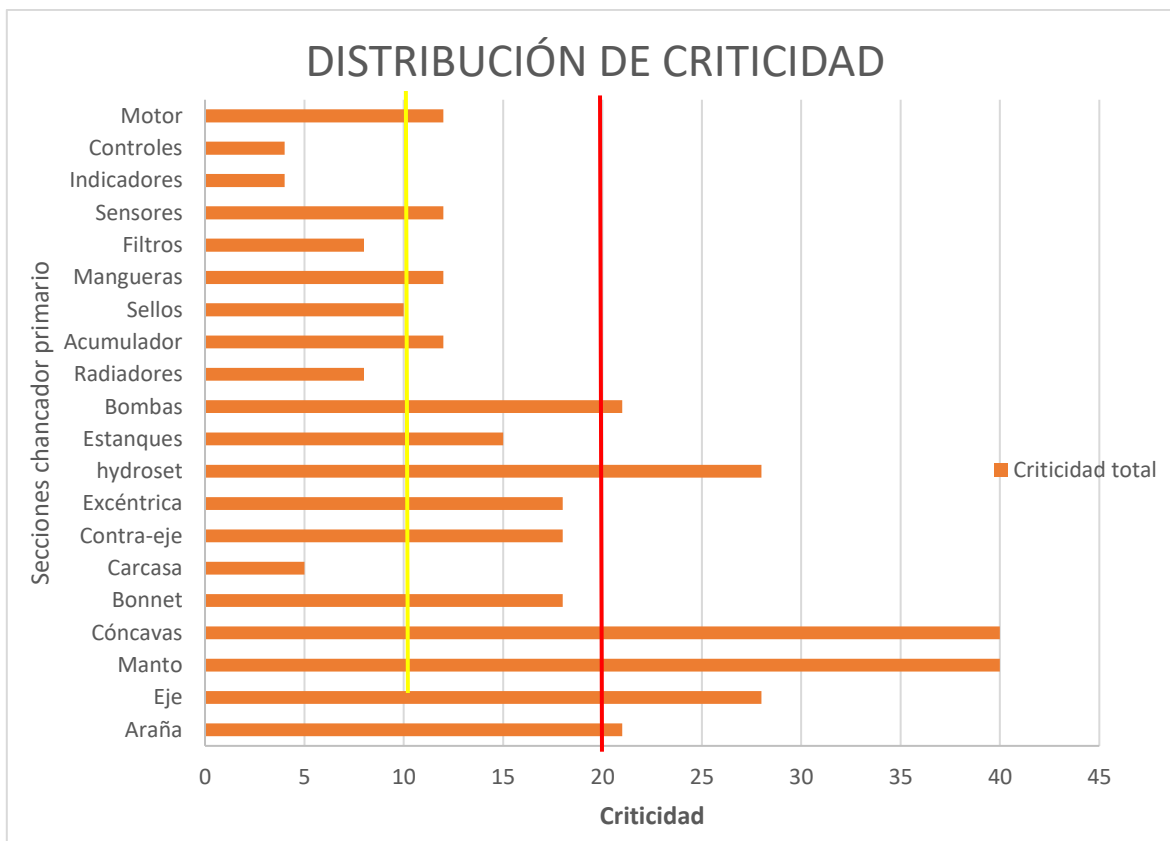


Ilustración 4-4: Distribución de criticidad total de componentes (elaboración propia)

De todas formas, no se deben dejar de lado los demás componentes a la hora de programar un mantenimiento pues la totalidad de los elementos representa al equipo en sí y lo ideal es que se mantenga en funcionamiento cumpliendo con los estándares cada sección y elemento. En resumen, se logra categorizar e identificar los insumos y desechos más significativos, que también tienen criticidad en el área operacional mostrando la oportunidad de mejora sin perjudicar la operatividad, ahora bien, también se debe asegurar un análisis más acabado de las fallas que se presentan en la operación.

4.4 Gestión de fallas

En esta sección se busca tener conocimiento de las fallas, si bien con anterioridad se realizó un análisis de modo de falla adaptado para la búsqueda de insumos y desechos críticos, no se debe olvidar de asegurar y prevenir las consecuencia local, mayor y final. Para realizar un análisis de fallas y poder aplicar un registro de estas, se deben presentar ciertas condiciones en el nivel de la investigación, en primer lugar, la definición detallada de los componentes,

acción que ya se llevó a cabo, como también el planteamiento de un objetivo, esto como objetivo mayor es el establecimiento de acciones en un programa de mantenimiento que eviten la falla, pero esto significaría un caso ideal.

El chancador primario está lejos de un comportamiento ideal por las mismas condiciones del proceso en el cual está involucrado, este equipo entra en la categoría de robustos y de mala forma se califica como su necesidad de mantenimiento de la misma manera. Entonces es lógico pensar que se debe crear una gestión de la falla, que una vez ocurrida exista referencia de cómo actuar y proporcionar una solución. Como primer paso se establece un listado de fallas presentado en la Tabla 12: Listado de fallas chancador primario , esto se llevó a cabo en base a los veinte componentes enlistados por su criticidad y además por el apoyo de operarios del equipo como también por ingenieros de servicio (FLSMIDTH S.A., 2014).

Tabla 12: Listado de fallas chancador primario (elaboración propia)

Nº	FALLA
1	Detención del chancador.
2	Chancador falla en mantener ajustes.
3	Fluctuación del conjunto del eje principal.
4	Rotura del manto.
5	Ruidos inusuales en el chancador.
6	Pernos de la carcasa rotos.
7	Aceite lubricante está demasiado caliente al ingresar al chancador.
8	Aceite lubricante está demasiado caliente al salir al chancador.
9	Exceso de polvo en el aceite lubricante.
10	Dificultad para remover la araña.
11	Falla en el cojinete de la araña.
12	Falla del cojinete de la araña debido a estrías.
13	Falla del cojinete de la araña debido a quemaduras y grietas.
14	Tapa de la araña suelta con tendencia a desprenderse.
15	Conjunto de la araña está suelto.
16	El conjunto de la araña está suelto en la cavidad de la araña.
17	Protecciones de la araña están gastados.
18	Agrietamiento de los cóncavos.

19	Cóncavos se están cayendo.
20	Cóncavos se están gastando rápidamente.
21	Rotura del anillo de segmentación del cóncavo.
22	Desgaste de revestimientos de la carcasa inferior.
23	Los pernos o tuercas del revestimiento de la carcasa inferior están sueltos.
24	Araña o muñón excéntrico del conjunto del eje principal en malas condiciones.
25	Araña o muñón excéntrico del conjunto del eje principal descolorido.
26	Anillo del sello de polvo del conjunto del eje principal está roto.
27	Se suelta la tuerca de cabeza del conjunto del eje principal.
28	Filtración del sello del aceite de contacto teflón-grafito en conjunto del eje principal.
29	Desgaste del engranaje cónico del conjunto excéntrico.
30	Engranaje cónico del conjunto excéntrico está desbarbado.
31	Cojinetes interiores y exteriores del conjunto excéntrico están quemados y agrietados.
32	Desgaste de anillo de desgaste del excéntrico.
33	Conjunto del contra eje filtra aceite lubricante en el sello.
34	Empalme tipo engranaje del sistema drive hace ruidos.

Una vez ya se tenga identificadas las fallas, que se muestran como una ejemplificación de condición de algún componente, parámetro o insumo, lo que las hace muy similar a la definición estricta de modo de falla, aclarando que en esta sección se busca otro un objetivo distinto al análisis de criticidad. Es lógico el planteamiento de esclarecer las posibles causas de estas fallas y posterior a eso entregar una solución, siendo esto el objetivo final de la sección, un registro estable con actividades de contingencia al plan de mantenimiento. En la Tabla 13 se presenta un extracto del listado de posibles causas a cada falla, esto completa para las 34 fallas un total de 60 posibles causas, donde se les identifica con una asignación numérica y alfabética, el numero corresponde a la falla en cuestión y la letra a cada posible causa, para ver el listado completo ver Anexo 1: Listado de causas de fallas chancador primario.

Tabla 13: Extracto de listado de causas de fallas chancador primario (elaboración propia)

Nº	ID	CAUSA
1	1.a	Apilamiento en cámara chancadora.

2	1.b	Fragmentos de hierro.
3	1.c	Bajo o nulo flujo de aceite de lubricación.
4	1.d	Tubería rota.
5	1.e	Eje de la bomba de lubricación trabado.
6	2.a	Filtración de aceite en el ajuste hidráulico.
7	2.b	Filtración de válvula de relevo.
8	2.c	Filtración de solenoide o válvulas de chequeo.
9	2.d	Sellos de pistón hidráulicos gastados o defectuosos.

Con este listado se establecieron las posibles causas, con este formato de entrega se busca lograr una ayuda en la búsqueda de la acción de reparación, esto se debe considerar como parte de la estrategia de mantenimiento, donde no solo se debe buscar evitar la falla, sino también como enfrentarla.

4.4.1 Propuesta de soluciones a fallas

Aquí se presenta la primera propuesta de mejora para el mantenimiento con un foco operacional, siguiendo el mismo concepto de identificación de causas de fallas se presenta para cada causa una solución, la Tabla 14 se encarga de mostrar el formato en un extracto de la secuencia de acciones ajustada al nivel de gravedad de cada causa, la extensa lista de soluciones se debe entregar tanto a los operarios del equipo siguiendo la metodología de mantenimiento autónomo, donde se debe involucrar a los trabajadores, como al equipo del área de mantenimiento de esta forma se proporciona información horizontal y las acciones de cada grupo son alineadas. Para ver el listado de referencia ver Anexo 2.

Tabla 14: Extracto de soluciones estándar de fallas chancador primario (elaboración propia)

Nº	ID	SOLUCIÓN
1	1.a	■ Limpie la cámara bajando el conjunto del eje principal. ■ Baje el eje principal antes de comenzar. ■ Reajuste el motor de transmisión principal del chancador y vuelva a encenderlo. ■ Verifique los ajustes del chancador para asegurarse que no sean menores

		que los recomendados. ▪ Verifique el área de descarga de la cámara del chancador para asegurarse que no está atascada.
2	1.b	▪ Remueva la obstrucción del conjunto del eje principal. ▪ Reajuste el motor de transmisión principal y vuelva a encender. ▪ Si el conjunto del eje principal no puede bajarse porque la obstrucción está demasiado apretada, se debe limpiar la cámara del chancador. ▪ No intente levantar el conjunto del eje principal si no puede bajarse debido a daños posibles a los cojinetes.
3	1.c	▪ Verifique calentadores para aceite de lubricación y termostatos.
4	1.d	▪ Inspeccione todas las tuberías buscando filtraciones o roturas excesivas.
5	1.e	▪ Desmonte la bomba para revisar razón de atascamiento de la bomba.
6	2.a	▪ Revise tuberías del sistema de ajuste hidráulico en busca de filtraciones.
7	2.b	▪ Reemplace sellos en válvula. ▪ Reemplace válvula.
8	2.c	▪ Reemplace sellos en válvula. ▪ Reemplace válvula.
9	2.d	▪ Determinar causas de falla del sello si es prematuro y corregir. ▪ Instale sellos nuevos.
10	3.a	▪ Sangre el aire atrapado en el sistema hidráulico. ▪ Carga del Acumulador del Sistema de Ajuste Hidráulico.

El formato presentado tiene como intención de ser una documentación estable para los involucrados con el equipo, se realiza esta gestión de falla a modo de contención de un plan de mantenimiento, en resumen la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 se deben establecer juntas para consultar ante la necesidad de entregar una rápida acción correctiva a una falla que se haya escapado al control del plan de mantenimiento, el cual claramente tiene como objetivo disminuir al máximo su frecuencia de ocurrencia y que las detenciones solo sean programadas.

4.5 Análisis de problemas del proceso

En esta sección se intenta responder al siguiente cuestionamiento, ¿Qué ocurre con los problemas no operativos del equipo?, si se realiza un protocolo de acción ante fallas del mismo equipo también se debiera extender a problemáticas de áreas contingentes al chancador primario y que tienen directa incidencia en un proceso.

Es por esto que como segunda propuesta se tiene un registro de los problemas de proceso, esto funciona como un complemento a lo expuesto en la sección 4.4.1, puesto que en operación puede ocurrir que el equipo no se comporte de la manera esperada y analizando el problema no responde a una falla de componente sino más bien a algo externo, estos problemas normalmente son reconocibles si se sigue de buena forma el plan de mantenimiento pero de todas formas se encuentran problemas en el tamaño de mineral, el rendimiento del equipo y calidad del producto final.

Uno de los problemas más frecuentes es el referente al tamaño de alimentación del chancador, el mineral ROM debe estar en un rango de tamaño, esta problemática y su respectivo método de control se presenta en la Tabla 15, con un formato definiendo el sistema involucrado, la variable comprometida, problema objetivo, método de controlar (en estos casos puede depender de un área distinta a la de chancado) y el impacto que el problema puede provocar en el proceso.

Tabla 15: Caracterización de problema de alimentación chancador primario (elaboración propia)

Sistema: <i>Chancado</i>
Variable del Proceso: <i>Alimentación primaria desde mina</i>
Problema Objetivo
Tamaño de mineral de alimentación del chancador
Método de Control
La mina tiene un procedimiento para controlar la perforación y detonación para dar el tamaño deseado de alimentación.
Impacto en el Proceso

Mineral mayor que objetivo puede trabar el chancador, causando reducción del rendimiento, Paralizaciones excesivas y peligros potenciales para el personal y equipos. El mineral más fino que el óptimo puede tapar al chancador y Reducir rendimiento.

Otro de los problemas ejemplificados en la Tabla 16 es referente al rendimiento del chancador primario, que puede verse mermado por condiciones de alimentación de mineral (tamaño fuera de rango o frecuencia de descarga inadecuada). estas características condicionan uno de los parámetros que mejor se deben cuidar pues el rendimiento es un índice de medición del funcionamiento tanto del área productiva como del área de mantenimiento.

Tabla 16: Caracterización de problema de rendimiento chancador primario (elaboración propia)

Sistema: <i>Chancado</i>
Variable del Proceso: Rendimiento del chancador
Objetivo
Menor a la capacidad medida
Método de Control
Los procedimientos de detonación en mina deben hacerse correctamente para una adecuada distribución del tamaño de la alimentación.
Impacto en el Proceso
Una distribución inadecuada del tamaño, una frecuencia de descarga de camiones demasiado baja y un ajuste inadecuado del chancador, reducen el rendimiento del chancador.

Siguiendo con la lógica de enlistado de problemas del proceso en la Tabla 17 se muestra una problema de sobreproducción que al igual que otros problemas disminuye el rendimiento, el hecho de una alimentación bajo el rango, si bien no producirá atollo, hará que el chancador haga trabajo innecesario, su método de control se establece en la tabla mencionada.

Tabla 17: Caracterización de problema de calidad chancador primario (elaboración propia)

Sistema: <i>Chancador</i>
Variable del Proceso: Tamaño del producto chancado
Objetivo

80% menor al ajuste de abertura del chancador
Método de Control
Cambiar el ajuste de la abertura del chancador a medida que se desgastan el manto y los cóncavos del chancador. Reemplazar cuando se gasten.
Impacto en el Proceso
Un tamaño demasiado pequeño del producto del chancador puede provocar bajo rendimiento y un alto consumo de energía del chancador y el desgaste de los cóncavos.

Y, por último, un problema en el aviso de nivel de carga que poseen los chancadores, para mantener su trabajo dentro de los límites, esto es común por la alteración en la frecuencia de descarga de camiones al área de chancado primario, esta problemática se muestra junto a su método de control en la Tabla 18.

Tabla 18: Caracterización de problema de parámetros chancador primario (elaboración propia)

Sistema: <i>Chancador</i>
Variable del Proceso: Nivel de la cavidad de descarga
Objetivo
Alarmas de alto y bajo nivel
Método de Control
Asegúrese que los camiones descarguen a una frecuencia suficientemente rápida para prevenir que se active la alarma de bajo nivel. La frecuencia de descarga se puede bajar fácilmente cuando se alcanza el nivel alto.
Impacto en el Proceso
Un nivel demasiado bajo indica niveles bajos de producción. Un nivel demasiado alto puede dañar el chancador.

Realizando un resumen, en esta sección se logran los primeros avances hacia una mejora en el uso de insumos y la gestión de desechos, si bien se presenta la identificación de componentes críticos e identificación de los insumos bajo la modelación ambientalmente responsable y más bien se centran sobre lógicas de acción a fallas y problemas de proceso. Estos análisis junto con la identificación del equipo a tratar son el primer paso de aplicación de la metodología Lean y como se definió la mirada Green se realiza bajo este concepto, es

decir, se debe agilizar lo existente hasta el momento para así lograr proponer acciones nuevas, modificaciones o eliminación del plan actual, lo que se abarca más adelante en la investigación.

5.Descripción de plan de mantenimiento actual y manejo de insumos

En esta sección se tiene como propósito mostrar los antecedentes que se manejan de las acciones de mantenimiento para el equipo seleccionado, un chancador giratorio de cono primario, este equipo tiene una no muy extensa lista de proveedores de calidad mundial, el presentado en esta investigación y ya especificado en la sección 3.1, corresponde a la empresa FLSmidth. La adquisición de un equipo de estas características para un proyecto minero corresponde a la línea de su inversión inicial por ser un equipo fundamental para el proceso, una vez adquirido el equipo ¿Cómo se define su mantenimiento?, ¿De quién depende? Son preguntas validas, pues bien, en el contexto real las acciones de mantenimiento están sujetas al dueño del equipo (ej.: una minera), este tiene total libertad a la hora de la programación y acciones. En la industria minera, los distintos departamentos de cada empresa diseñan y llevan adelante los programas de mantenimiento de los equipos que utilizan, con objetivos principales de:

- Optimizar la vida útil
- Asegurar operatividad
- Menor costo de mantenimiento
- Disponer de presupuesto
- Minimizar fallas imprevistas
- Mejor planificación
- Diminución de tiempos de detención

En las faenas en particular se realizan mantenciones correctivas y preventivas, de donde de esta última tiene acciones de inspección, remplazos, reparaciones, revisiones generales, lubricaciones y aseos, todo esto en la búsqueda de mayores beneficios respetando para los equipos las indicaciones del fabricante a la hora de definir frecuencias de mantención. Con respecto al equipo de chancado analizado en la presente investigación se presentan programas de inspección de mantenimiento preventivo (Portal Minero S.A., 2010)

La empresa proveedora de equipos mineros para asegurar su funcionamiento se hace cargo de entregar documentación tanto de la instalación y de la operación (FLSMIDTH INC., 2012), además de una serie de documentos de especificaciones al chancador y protocolos de revisión o bien de cambio de componentes. En el modelo de negocio de la empresa un servicio de mantenimiento más integral sobre el equipo es una contratación diferente, es decir la compra del servicio y el nivel de esta también está definida por la negociación entre las partes, pudiendo ser desde un procedimiento puntual, hasta la ejecución completa de las actividades del área de mantenimiento para un equipo específico. De la misma forma funciona la compra de repuestos.

Para ejemplificar un modelo de servicio de mantenimiento entregado por la empresa FLSmidth sobre un equipo propio en faena y del mismo modelo que el presentado en esta investigación. El servicio entregado consta de un staff fijo bajo el pago de una cuota mensual encargado de revisiones, reparaciones y remplazo de componentes para mantener operativo el equipo, además, este incluye los trabajos de cambio de los denominados elementos de desgaste, característicos de equipos de conminución (manto, cóncavas o zonas revestidas), cambio de componentes operacionales o de seguridad, servicio posterior a la adquisición de los repuestos y procedimientos de revisión general (overhaul) por un costo adicional, junto con el aumento de la cuadrilla de personal.

El propósito del mantenimiento preventivo el cual es el más utilizado tanto por empresas de rubro minero como proveedores, es el poder “medir” la condición del equipo para decidir si el equipo va a fallar en el futuro y poder tomar decisiones para evitar una falla y las consecuencias de esta. Para esto se plantean una serie de acciones con este objetivo.

5.1 Monitoreo de desgaste y defectos

El desgaste es un proceso gradual de una serie de elementos y en especial en un equipo de chancado, este proceso permite que se pueda monitorear su tendencia de desgaste y es una manera eficaz de llevar un registro adecuado de los componentes que sufren este fenómeno y en qué zonas se ven más afectados.

Como principal actividad de esto es llevar un historial para cada elemento y poder prever cuando es el momento de remplazo. Este proceso es inevitable pues el funcionamiento de un

chancador se centra en esto, en el consumo de sus revestimientos y siempre se centra en las mismas zonas como se expone en la Ilustración 5-1: zonas de principal desgaste en chancador Ilustración 5-1, donde las zonas rojas son las que más sufren desgaste y seguida por las zonas en verde para el caso del chancador.

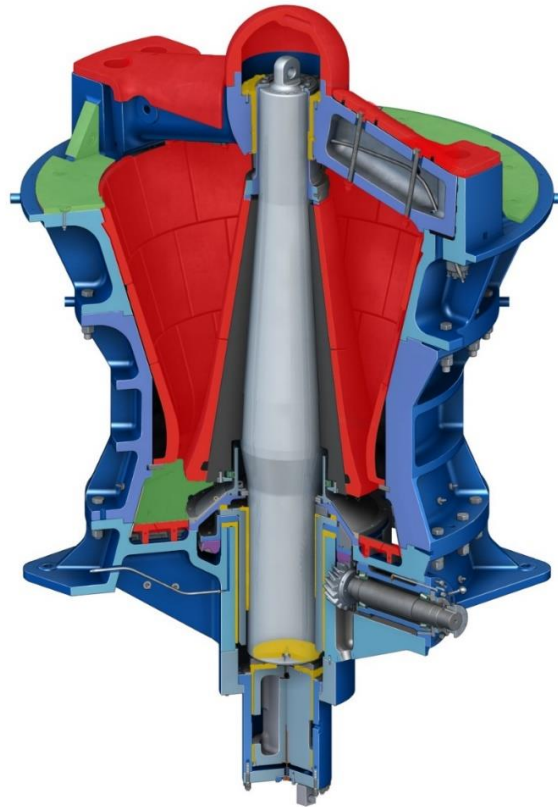


Ilustración 5-1: zonas de principal desgaste en chancador (FLSMIDTH S.A., 2014)

Para el registro de este desgaste se efectúa a través de pruebas no destructivas, y estas están enfocadas en detectar defectos sin alterar el equipo y está dentro del programa de mantenimiento preventivo al buscar la evolución de desgaste a través del tiempo y evitar fallas catastróficas. Actualmente se recomiendan cuatro tipos de pruebas no destructivas que mantienen un costo razonable e indispensable en un monitoreo de condición (FLSMIDTH INC., 2012):

- **Inspecciones visuales:** Son las más comunes y se pueden realizar de forma diaria, no requiere equipamiento especial, pero si personal capacitado para saber que buscar y donde, se utiliza principalmente para identificar cóncavas fisuradas o pitting en el piñón del contra-eje.

- **Líquidos penetrantes:** Es un método de encontrar fisuras en superficies no porosas ferrosas o no, utilizado principalmente en engranajes, se necesita el kit de aplicación y bien muestra el lugar de la fisura no su profundidad.
- **Partículas magnéticas:** Es un método de encontrar fisuras internas en materiales ferro-magnéticos, al trabajar por la distorsión de un campo magnético por efecto del defecto solo es posible encontrar fisuras en dirección perpendicular al campo aplicado, obviamente se necesita personal capacitado y kit de aplicación.
- **Inspección ultrasónica:** Este método funciona por si solo y como una comprobación de defectos encontrados por otros métodos, pues entrega ubicación y dimensión de la falla, es aplicado normalmente en cuerpos de soldadura, estructuras fundidas, ejes, engranajes y bujes. Se necesita personal capacitado y kit de aplicación.

5.2 Muestreo de contaminación de aceite

El aceite presente en el proceso tanto el utilizado para procesos de lubricación y del sistema de hydroset en el chancador primario puede y es contaminado por el desgaste de componentes o polvo en suspensión del proceso es importante para el área de mantenimiento resguardar una buena calidad de este insumo y futuro desecho. Es por esto que como parte del plan preventivo se realiza un seguimiento de muestreo de contaminación para establecer la necesidad de cambio, según necesidad (FLSMIDTH INC., 2012).

Las fuentes de desechos, partículas de desgaste y de suciedad son:

- **Chancador:** Desechos generados durante la fabricación, el transporte y el almacenamiento y las partículas de desgaste de sus componentes:
- **Sistema de tuberías:** Desechos generados durante la instalación o un mal cuidado de estas.
- **Medio ambiente:** Partículas de suciedad presentes en el mineral al ser chancado y adicionalmente, puede haber humedad presente en el aceite.

5.2.1 Desechos de fabricación, transporte y almacenamiento

Los desechos generados durante la fabricación normalmente son de acero o de bronce (virutas, recortes y arenilla), arena de fundición, escoria de fundición, escoria de soldadura y escoria de acero, estos desechos deberían ser descubiertos y eliminados durante la fabricación, pero existe la posibilidad de mantenerse en el equipo. Los contaminantes atraídos durante el transporte o almacenamiento se manifiestan en forma de humedad, corrosión y suciedad. Estos contaminantes normalmente se descubren y son removidos durante el montaje del chancador, pero a la hora de hablar de repuestos y su instalación aumenta la posibilidad de contaminación.

5.2.2 Residuos en tuberías

Los residuos provenientes del sistema de tuberías normalmente consisten en virutas de acero, cinta de sello de tuberías, compuesto de sello de tuberías, materiales de limpieza de tuberías y materiales de empaquetadura. Estos residuos normalmente se descubren y eliminan durante el proceso de sangrado del sistema de tuberías, es decir, un método de limpieza por empuje del mismo fluido.

5.2.3 Humedad

Normalmente entra humedad al sistema lubricante a través de sello contra polvo, cubierta del sello contra polvo o a través de la abertura de acceso al estanque de aceite del sistema de lubricación o hidráulico, durante la limpieza del chancador o de dicha área.

5.2.4 Partículas de suciedad

Las partículas de suciedad están naturalmente presentes en el mineral ROM a ser chancado y se introducen en el sistema de lubricación a través de algún sello desgastado, sello contra polvo defectuoso, cubierta contra polvo dañado o fuera de lugar o sello de aceite defectuoso. Esto debe ser evitado con un buen sistema de revisión.

Pequeñas cantidades de partículas de suciedad estarán permanentemente presentes en el aceite. Una cantidad importante de partículas de suciedad es indicio de una condición anormal en el mineral y requiere análisis pues modifica las condiciones operacionales

La partícula de suciedad más importante en faenas mineras, en el aceite es el silicio (Si). Partículas de menor importancia de impacto y cantidad aparecen en el aceite como níquel (Ni), plata (Ag), aluminio (Al) y sodio (Na) y el monitoreo de estas partículas no suele ser productivo pues son partes del mineral.

5.2.5 Partículas de desgaste

Los componentes del chancador están contruidos de materiales distintos a los presentes naturalmente en el mineral. Los cuales son usados como componentes de desgaste y el aceite de lubricación pasa a través del chancador y sobre las superficies de estos elementos. La operación normal del chancador desgasta la superficie de estos componentes y este desgaste aparece en el aceite lubricante como partículas de desgaste. Las partículas principales de desgaste que aparecen en el aceite son:

- HIERRO (Fe)
- COBRE (Cu)
- PLOMO (Pb).

Partículas de menor importancia de desgaste aparecen en el aceite son:

- ESTAÑO (Sn)
- CROMO (Cr)
- NIQUEL (Ni).

Pequeñas cantidades de partículas primarias y secundarias estarán presentes en el aceite en forma continua por efecto del proceso. Si a través de un análisis hay un aumento en la cantidad medida en partes por millón, estará indicando una condición anormal que requiere atención. Las partículas de desgaste de menor importancia se presentan en pequeñas cantidades y no tienen mayor impacto en el proceso.

Los niveles de contaminación mostrados en la Tabla 19 son el resultado de la experiencia actual en operación en minas a nivel mundial donde la empresa FLSmidth tiene dispuesto equipos de chancado primario.

Tabla 19: Niveles de contaminación de aceite (FLSMIDTH INC., 2011)

ELEMENTO		CLASE	LUGAR DE PRESENCIA	NORMAL	ALERTA
----------	--	-------	--------------------	--------	--------

				ALTO [ppm]	[ppm]
HIERRO	Fe	DESGASTE	- Eje Principal - Excéntrica - Conjunto de Engranajes - Descansos Contra-eje - Cubierta contra Polvo - Placa Base - Anillo de desgaste central - Pistón	100	150
COBRE	Cu		Buje Excéntrica Interna	35	50
PLOMO	Pb		- Buje Excéntrica Externa - Anillo Desgaste Externo	15	50
ESTAÑO	Sn		- Buje de Pistón - Anillo Desgaste Eje Principal - Anillo Desgaste Pistón	No especificado	No especificado
CROMO	Cr		- Descansos Contra-eje - Conjunto Engranajes	No especificado	No especificado
NIQUEL	Ni		- Descansos Contra-eje - Conjunto Engranajes	No especificado	No especificado
SILICIO	Si	SUCIEDAD	Mineral	50	75
NIQUEL	Ni			No especificado	No especificado
PLATA	Ag				
ALUMINIO	Al				
SODIO	Na				
HUMEDAD			Aceite	0,20%	0,40%

La tabla anterior presenta un régimen que intenta proporcionar una protección máxima posible para el chancador y la operación minera mediante el uso de un programa de mantenimiento preventivo y monitoreo de condición del aceite de operación, se muestran los niveles de alerta de partículas de desgaste principales que impactan en la operación y nivel

de suciedad de silicio con objetivo del cuidado de salud de los operadores cercanos al área de chancado.

5.3 Análisis de vibraciones

El monitoreo de vibraciones es un método de mantenimiento predictivo que permite detectar anomalías en los equipos antes de dar muestra de daños y está enfocado a elementos que funciones por revoluciones, permitiendo la planificación de reparaciones o remplazos, solicitud de repuestos. Este tipo de análisis debe ser realizado de con todas las precauciones de seguridad, pues se realizan con el equipo en marcha, comúnmente se encuentran causas de aumento de vibración por (FLSMIDTH INC., 2012):

- Desalineación de engranajes, motor y eje
- Desbalanceo
- Resonancia
- Fuerzas dinámicas externas
- Excitación de componentes eléctricos
- Deterioro de componentes

En el caso del chancador analizado algunos de sus mandos cuentan con sensores de vibración integrados que toman medición en tiempo real, pero es importante medir en puntos que no estén en línea para encontrar otros defectos, los puntos más comunes de mediación para un chancador giratorio de cono primario son el motor y rodamientos del contra-eje.

5.4 Criterio de remplazo de elementos

Dentro de los planes de mantenimiento preventivo y todos los análisis que se realizan tienen como fin prevenir fallas catastróficas y planificar el cambio de los elementos que sufren desgaste, entonces es lógico establecer que debe haber una guía que muestre lo limites estos se presentan en él y tiene la estructura de entregar los parámetros medidos en los análisis o bien dimensiones físicas a ratificar y demostrar que es necesario el recambio, los elementos que se les realiza cambio por desgaste están expuestos a continuación en la Tabla 20 y es útil para hacer realizar un planificación de mantenimiento que involucre la revisión de estos elementos.

Tabla 20: Listado de componente de desgaste (FLSMIDTH INC., 2012).

ID	COMPONENTE DE DESGASTE
a	Superficies de Chancado (manto y cóncavas)
b	Superficies de Protección
c	Bujes Araña
d	Bujes Excéntrica Externa
e	Anillo Desgaste Excéntrica
a	Anillo Desgaste Eje Principal
b	Anillo Desgaste Central
c	Anillo Desgaste Pistón Inferior
d	Bujes de Pistones Superior e Inferior
e	Anillo Sello contra Polvo
a	Cubierta Sello contra Polvo
b	Retenedor Sello contra Polvo
c	Sello de Contacto de Eje Principal
d	Manga Eje Principal
e	Área Muñón
a	Buje Excéntrica Interna
b	Eje Principal
c	Excéntrica
d	Piñón
e	Engranés

5.5 Procedimientos de desinstalación y cambio

En los siguientes procedimientos se describe la remoción y reemplazo de los componentes principales del chancador giratorio fabricado por FLSmidth. El objetivo de estos procedimientos es entregar tanto a la gerencia como a la línea de supervisión y a los operadores la información suficiente para planificar y realizar la remoción y cambio de los componentes de manera segura y efectiva.

Estos procedimientos entregan una secuencia general para la remoción y cambio de los componentes y entrega los detalles de cada paso de la secuencia. La remoción y cambio normal de los componentes incluye la corrección de desajustes menores mediante enderezamiento, laminado de relleno, desbarbado, corte, lijado o pulido moderado para obtener el ajuste y ubicación correctos de los componentes. Los desajustes que no puedan corregirse mediante estos métodos, pasan a ser responsabilidad del proveedor del equipo y él debe corregir asegurando la implementación del método de reparación más eficiente y económico (FFE MINERALS USA INC., 2002).

Los siguientes procedimientos en listados en la Tabla 21 son descritos en la referencia oficial de remoción y remplazo de componente entregados por el proveedor del equipo como parte del plan de mantenimiento mayor del chancador (FLSMIDTH INC., 2012)

Tabla 21: Listado de procedimientos de remoción y remplazo (FLSMIDTH INC., 2012)

ID	PROCEDIMIENTOS DE REMOCION Y REMPLAZO
1	Remoción del Conjunto de la Araña
2	Remoción del Conjunto del Eje Principal
3	Remoción del Conjunto del Cilindro Hidráulico
4	Remoción del Conjunto de la Placa Inferior y la Excéntrica
5	Remoción del Conjunto Contra-eje
6	Remoción del Cojinete de la Araña
7	Remoción de la Cubierta de Polvo
8	Remoción del Cojinete Interior de la Excéntrica
9	Remoción del Cojinete Exterior de la Excéntrica
10	Remoción del Anillo de Desgaste Central
11	Remoción del Anillo de Desgaste del Pistón
12	Remoción del Anillo de Desgaste del Eje Principal
13	Remoción del Anillo de Desgaste de la Excéntrica
14	Remoción de los Sellos del Cilindro Hidráulico
15	Remoción de los Cojinetes del Cilindro Hidráulico
16	Remoción de la Corona
17	Remoción del Piñón

18	Remoción de los Cojinetes del Contra-eje
19	Remoción de la Manga del Eje Principal
20	Remoción del Sello de Contacto (Anillo Partido) del Eje Principal
21	Remoción de Cóncavos
22	Remoción del Manto
23	Remoción del Núcleo
24	Reemplazo del Manto
25	Reemplazo del Núcleo
26	Reemplazo de la Manga del Eje Principal
27	Reemplazo del Sello de Contacto (Anillo Partido) del Eje Principal
28	Reemplazo del Cojinete Interior de la Excéntrica
29	Reemplazo del Cojinete Exterior de la Excéntrica
30	Reemplazo del Cojinete del Cilindro Hidráulico
31	Reemplazo de los Sellos del Cilindro Hidráulico
32	Reemplazo de Cóncavos
33	Reemplazo del Revestimiento de la Cavity de la Araña
34	Reemplazo de la Corona
35	Reemplazo del Piñón
36	Reemplazo del Cojinete del Contra-eje

5.6 Mantenimiento preventivo instrumental

Por último, se entregan por parte del plan de mantenimiento preventivo una guía de cuidado para los elementos eléctricos y electrónicos del chancador primario, tanto la información de operación como la mantenibilidad está disponible en el manual de instalación y operación (FLSMIDTH INC., 2011) y es parte de la documentación entregada por parte del proveedor del equipo al personal operativo y departamento de mantenimiento. El listado de componentes de esta categoría se muestra en la Tabla 22 para tener conocimiento en las propuestas de esta investigación:

Tabla 22: Listado de componente eléctrico o electrónico del chancador (FLSMIDTH INC., 2011)

SECCIÓN	ELEMENTO ELÉCTRICO O ELECTRÓNICO
Chancador	Sensor de temperatura del rodamiento interno del contra-eje
	Sensor de temperatura del rodamiento externo del contra-eje
	Indicador de presión cojinete araña
	Sensor/transmisor de presión cojinete araña
	Interruptor de fin de ciclo cojinete araña
	Controlador cojinete araña
Motor	Sensor de temperatura del estator
	Sensor de temperatura del rotor
	Relé de protección del motor
Sistema de Lubricación	Interruptor/transmisor de flujo – contra-eje
	Interruptor/transmisor de flujo – carcaza inferior
	Interruptor/transmisor de flujo – fondo del hidráulico (excéntrico interior)
	Indicador de temperatura
	Sensor/transmisor (es) de temperatura
	Medidor de nivel.
	Transmisor indicador de nivel
	Válvula de relevo de presión.
	Indicador de presión.
	Transmisor indicador de diferencial de presión.
	Sensor/transmisor de temperatura enfriadores de aceite lubricante
	Indicador de temperatura enfriadores de aceite lubricante
	Indicador de presión enfriadores de aceite lubricante
	Interruptor de posición
Ajuste hidráulico	Indicador de temperatura
	Sensor/transmisor de temperatura
	Medidor de nivel
	Transmisor indicador de nivel

	Válvula de relevo de presión.
	Indicador de presión
	Transmisor indicador de diferencial de presión.

6. Propuesta de plan de mantenimiento y mejoras

Habiendo determinado los componentes críticos del equipo de chancado primario y expuesto la realidad actual de su mantenimiento de forma general de la industria y en específico la aplicada por proveedor de nivel mundial, FLSmidth, prestador de servicio de mantenimiento y proveedor del equipo “Gyratory Crusher, Model Fuller – Traylor 60” x 113” NT, Open Discharge” se debe generar respetando la estrategia de mantenimiento Lean y Green, un plan de especificación de acciones para cumplir con el objetivo de preservar la funcionalidad del equipo.

El método utilizado tiene como prerequisite conocer los componentes del equipo de forma detallada, junto con sus funciones y además las potenciales fallas. Evaluando estas condiciones se puede gestionar sobre ellas, primero dando resolución a las fallas a modo de contingencia, esto se presentó en la sección 4.4.1, para luego proponer una mejora sobre el plan de mantenimiento actual y su tratamiento de insumos y desechos.

6.1 Plan mejorado de mantenimiento

Los planes propuestos tienen una estructura de mantenibilidad del área mecánica del chancador, dividiéndolo en distintas secciones y subdividiendo estas en ítems o componentes, se entrega la secuencia de actividad de cada una y la frecuencia viene dada por cada plan, es decir, un plan para cada frecuencia las cuales son diarias, semanales, mensuales, anuales y mayor. Por último, la subdivisión por componente da entender que este mismo es el repuesto si es necesario un recambio.

Cada actividad de mantenimiento tiene que ir asociada por normativa y en forma de mejora según la metodología Green las especificaciones de seguridad, al ser el personal considerado parte del medioambiente, en la Tabla 23: Secuencia de acciones de seguridad Tabla 23 se muestra la secuencia propuesta de seguridad para procedimiento.

Tabla 23: Secuencia de acciones de seguridad (elaboración propia)

Nº	SECUENCIA DE SEGURIDAD
1	Asegúrese que el motor de transmisión del chancador, el sistema de lubricación y el sistema de ajuste hidráulico estén inactivos, para evitar la interferencia con su operación debido a las pruebas e inspecciones mecánicas.
2	Antes de proceder con las tareas de mantenimiento preventivo mecánicas, revise si hay presencia de energía principal y de control en el equipo adecuado. La energía de control puede estar en la forma de presión ambiental, temperatura o energía eléctrica de bajo o alto voltaje.
3	Asegúrese que todo el equipamiento de protección personal se esté usando.
4	Asegúrese que todos los equipos de prueba estén correctamente calibrados y en buenas condiciones operativas.
5	Luego de completar las tareas de mantenimiento preventivo, asegúrese que todas las protecciones de seguridad, etiquetas y señales estén en su lugar y adecuadamente aseguradas. Saque los bloqueos y etiquetas del equipo y dejar la unidad para darle servicio, de acuerdo a los procedimientos establecidos de puesta en marcha.

Además, se presentan comentarios generales para las prácticas del área de mantenimiento, estas son expuestas en la Tabla 24, con el fin de ayudar y guiar al personal involucrado a un mejor entendimiento de las labores a realizar.

Tabla 24: Comentarios previos a acciones de mantenimiento (FLSMIDTH INC., 2011) y (elaboración propia)

ID	COMENTARIOS
----	-------------

A	Ciertas tareas de mantenimiento se efectúan en el chancador cuando las inspecciones indican que se requiere de una inspección más detallada, reparaciones o reemplazos sustanciales de componentes.
B	El chancador primario se enciende, detiene y opera desde una consola de control ubicada en la sala de control. El sistema de lubricación, el sistema de ajuste hidráulico del chancador primario y el sistema de lubricación de la araña también pueden activarse desde la consola en la sala de control. Dichas unidades también tienen paneles de control locales, normalmente usados para propósitos de mantenimiento
C	Notificar inmediatamente a un supervisor de cualquier problema real o potencial respecto de la seguridad o que puedan causar pérdida de tiempo en el equipo.
D	Documentar condiciones inusuales observadas, mediciones hechas y cualquier trabajo que se requiera.

A continuación, en la Tabla 25 se presenta el formato del documento propuesto para mostrar el plan de mantenimiento:

Tabla 25: Formato de plan de mantenimiento mecánico chancador primario (elaboración propia)

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO	<i>Frecuencia*</i>
<i>Comentarios acordes a las necesidades del plan*</i>	
SECCIÓN: <i>Identificación de la sección del chancador tratada*</i>	
ITEM	TAREAS
<i>Nombre de componente de a trabajar*</i>	<i>Listado de acciones a realizar sobre el componente*</i>

	•

Por la extensión de los planes se presentan en anexos, hacer referencia y ver Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8.

A modo de resumen las actividades de cada plan se enfocan en distintas secciones del chancador, en específico del conjunto del chancador, sistema de lubricación, enfriadores, sistema de ajuste hidráulico y sistema de lubricación de la araña.

6.2 Programa de recambio de secciones revestidas

6.2.1 Superficies protectoras

Reemplace los escudos del brazo de la araña, la tapa de araña, las placas de desgaste de la carcasa superior, los revestimientos de la pared exterior de la carcasa inferior y los revestimientos y revestimientos de la carcasa del eje contrario cuando estos componentes estén a punto de desgastarse según establecido en el documento de criterios de remplazo ver Anexo 3 o bien, cuando haya partes agrietadas o divididas.

6.2.2 Superficies del chancador

Reemplace las superficies de chancador cuando no se puede mantener el tamaño del producto, o cuando no se puede mantener la capacidad habitual, o cuando hay un aumento pronunciado y constante en la potencia de funcionamiento de la trituradora, o cuando hay una zona cóncava pronunciada en la parte inferior fila de cóncavos, o cuando hay un área cóncava pronunciada en el manto inferior, o cuando hay partes agrietadas o divididas.

6.2.3 Cambio de cóncavas

Como parte del plan de mantenimiento y uno de sus componentes críticos tanto de modo operacional como medioambiental es el cambio de cóncavas, como se sabe y se especificó con anterioridad que el chancador en su parte interna tiene la forma de un cono inverso protegido ante el desgaste por revestimiento de placas, las cóncavas, estas generalmente son de una aleación de manganeso y tienen un periodo de remplazo según el desgaste asociado a tonelaje procesado y naturaleza del material.

Los procesos de cambio de cóncavas deben ser efectuados con la detención del equipo, esto obviamente significa una disminución en la disponibilidad del equipo, de aquí la importancia operacional de su proceso de mantenimiento tenga una buena programación. Por parte del área medioambiental también adquiere condición crítica puesto que es uno de los grandes productores de desechos del proceso, el cambio de revestimiento significa la adquisición de un nuevo juego de cóncavas y desecho del juego antiguo, actualmente sin un proceso de recuperación por parte de proveedores que entreguen el servicio de recambio. Los principales parámetros se muestran en la Tabla 26, donde se especifican parámetros a controlar como área de mantenimiento y con respecto a la decisión de recambio se continua con la forma de

evaluación a través de mediciones en los procesos de revisión expuestos en la sección 6.1 en las secciones que hacen referencia al conjunto del chancador.

Tabla 26: Parámetros de proceso de cambio de cóncavas (FLSMIDTH INC., 2011) y (elaboración propia)

PARÁMETROS	UNIDAD	MÁXIMO
Parámetros Generales		
Tamaño	[pulgadas]	60x113
Arreglo de Filas	[]	3
Número Cóncavas por fila	[]	16
Grosor mínimo	[mm]	175
Desgaste por millón de tonelada	[mm]	2-3
Peso total	[Kg]	30.000
Frecuencia Mantención	[Meses]	8
Tiempo de Cambio	[Hrs]	90
Utilización de Recursos		
Mano de Obra Por fila	[HH]	200
Mano de Obra Por Cóncava	[HH]	4
Operación		
Tonelaje procesado por día (aprox.)	[Ton]	90.000
Tonelaje procesado por hora (aprox.)	[Ton]	6.000

La inspección del estado del revestimiento se realiza con diferentes técnicas como la inspección visual, escáner laser (preferentemente) y ultrasonido. La decisión de reemplazo del revestimiento tiene base en el concepto de mantenimiento preventivo, con el fin de evitar daño estructural al cono. En un solo caso es aceptado operar con cóncavas fracturadas, cuando esté próximo el cambio del poste, con el fin de ejecutar ambas acciones de mantenimiento simultáneamente.

El reemplazo de cóncavas tiene una frecuencia no establecida ya que el componente plenamente del desgaste y la decisión de cambio viene asociada a los análisis del plan

propuesto. El proceso de cambio se realiza de manera manual, en primer lugar, se remueven conjuntamente la araña y el poste para luego permitir el ingreso del personal al interior del chancador a efectuar la remoción de las cóncavas, la cual se efectúa una por una. Las técnicas de remoción corresponden al uso de oxicorte para el corte de las placas, además de desmontarlas utilizando cincel y martillo. Posteriormente al retiro de las cóncavas, se comienza con colocación de otras nuevas, utilizando el equipo de alzamiento según la referencia (FLSMIDTH INC., 2011).

6.3 Programa de lubricación

El aceite utilizado en el chancador es básicamente un aceite con aditivos de alta presión para engranajes, con una viscosidad de 320 centistokes @ 100 F (1500 SSU @ 100 F). Muchos proveedores de lubricante fabrican un producto apropiado para uso. El aceite usado en el sistema de lubricación se usa también en el sistema de soporte hidráulico.

Algunos aceites lubricantes que han sido usados con éxito en chancadores giratorios son Shell Omala 320, Gulf Harmony 320, y Mobilegear 632. Estos aceites son básicamente aceites con aditivos de alta presión para engranajes con una viscosidad de 320 Centistokes @ 100 F (1500 SSU @100 F). Esta lista de aceites no incluye todos los aceites posibles de ser usados con éxito, pero entrega una referencia a ser utilizada al seleccionar un aceite.

Se presenta el programa de lubricación para todos los sistemas que lo necesitan para asegurar su funcionalidad, en el formato entregado para las áreas de mantenimiento y de servicio de mantenimiento, consta de la identificación del sistema, componente a lubricar, plano de referencia entregado por proveedor del equipo (FLSMIDTH INC., 2012), la identificación del lubricante con dos posibilidades y su especificación, y el programa en sí, con la frecuencia, cantidad y comentarios para las áreas responsables. Como primer programa en la Tabla 27 se muestran las especificaciones de los sistemas más importantes.

Tabla 27: Programa de lubricación de sistemas complementarios (elaboración propia)

COMPONENTE / SISTEMA		SISTEMA HIDRÁULICO DEL CHANCADOR	SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL CHANCADOR	SISTEMA DE LUBRICACIÓN ARAÑA	
NÚMERO DE COMPONENTES/ PUNTOS DE LUBRICACIÓN		1	1	1	
PLANO DE REFERENCIA PARA PUNTO DE LUBRICACIÓN		Plano Ensamble Unidad Lubric./Hidráulica	Plano Ensamble Unidad Lubric./Hidráulica	Plano Sistema Lubricación con Grasa de la Araña	
LUBRICANTE	1	SHELL OMALA	Grasa de Sodio Litio	SHELL OMALA	
	2	MOBIL GEAR	Grasa de Sodio Calcio	MOBIL GEAR	
	ESPECIFICACIONES	ISO VG 320 (1500SSU @38C)	NLGI #1 Verano NLGI #0 Invierno	ISO VG 320 (1500SSU @38C)	
PROGRAMA	CANTIDAD DE LLENADO INICIAL		150 Galones (570 Litros)	55 galones (Barril) (208 Litros)	800 Galones (3030 Litros)
	AGREGAR	FRECUENCIA	Chequeo Mensual	Chequeo Mensual	Chequeo Mensual
		CANTIDAD	Un barril según sea necesario	Lo necesario para llenar el estanque	Lo necesario para llenar el estanque
	CAMBIAR	FRECUENCIA	-	Anualmente o si el estanque se contamina por sobre lo permitido	Anualmente o si el estanque se contamina por sobre lo permitido

		CANTIDAD	-	Cambio total 150 Galones (570 Litros)	Cambio total 800 Galones (3030 Litros)
CANTIDAD TOTAL REQUERIDA PARA UN AÑO DE OPERACIÓN (ESTIMADO)			300 Galones (1140 Litros)	1600 Galones (6060 Litros)	Tambor de 55 galones consumido por 528 horas de uso
COMENTARIOS			Ninguno	Ninguno	La alarma está presente cuando el sistema no puede completar un ciclo (tambor de grasa vacío)

Como segundo programa de lubricación en la Tabla 28 se le hace referencia a los sellos del chancador.

Tabla 28: Programa de lubricación de sellos (elaboración propia)

COMPONENTE / SISTEMA		SELLO DE POLVO DE EJE PRINCIPAL	SELLO TRIPLE DE CONTRA-EJE
NÚMERO DE COMPONENTES/ PUNTOS DE LUBRICACIÓN		1	1
PLANO DE REFERENCIA PARA PUNTO DE LUBRICACIÓN		Plano Ensamble Eje Principal	Plano Ensamble Contra-eje
LUBRICANTE	1	Grasa de Sodio Litio	Grasa de Sodio Litio
	2	Grasa de Sodio Calcio	Grasa de Sodio Calcio
	ESPECIFICACIONES	NLGI #1	NLGI #1

PROGRAMA	CANTIDAD DE LLENADO INICIAL		Menos de 1 galón (3,8 Litros)	Menos de 1 galón (3,8 Litros)
	AGREGAR	FRECUENCIA	Chequeo Mensual	Chequeo Mensual
		CANTIDAD	Menos de 1 galón (3,8 Litros)	Hasta que la grasa sea purgada desde el sello del contra-eje
	CAMBIAR	FRECUENCIA	-	-
		CANTIDAD	-	-
CANTIDAD TOTAL REQUERIDA PARA UN AÑO DE OPERACIÓN (ESTIMADO)			5 Galones (18,9 Litros)	2 Galones (7,6 Litros)
COMENTARIOS			Ninguno	Ninguno

Por último, el programa presente en la Tabla 29 es referente a las secciones de acople y así quedan cubiertas todas las zonas que necesitan de una propuesta programa de lubricación que estable, haciendo mención que el actualmente se realiza solo según necesidad.

Tabla 29: Programa de lubricación de acoplamientos (elaboración propia)

COMPONENTE / SISTEMA	ACOPLAMIENTOS DE ENGRANAJE DE EXTENSIÓN DE CONTRA-EJE	COJINETES DE ACOPLAMIENTO DE SEGURIDAD DEL ACCIONAMIENTO	
NÚMERO DE COMPONENTES/ PUNTOS DE LUBRICACIÓN	2	1	
PLANO DE REFERENCIA PARA PUNTO DE LUBRICACIÓN	Plano de Ensamble de Extensión de Contra-eje	Plano de Acoplamiento de Seguridad	
		LUBRICACIÓN	PRESURIZACIÓN

LUBRICANTE	1		Shell Alvania EP1	Aceite Suministrado por el Vendedor	Aceite Suministrado por el Vendedor
	2		Mobilux EP1		
	ESPECIFICACIONES		NLGI #1 EP	Mobil SHC 522	Mobil SHC 522
PROGRAMA	CANTIDAD DE LLENADO INICIAL		2,50 lbs (1,14 kg)	8,5 fl. Oz. (250 ml)	.07 fl. Oz. (2 ml)
	AGREGAR	FRECUENCIA	Chequeo Mensual	Una vez al año / o luego de cada liberación	En cada liberación
		CANTIDAD	Según requerimiento	Según requerimiento	Cambio total .07 fl. Oz. (2 ml)
	CAMBIAR	FRECUENCIA	Cada seis meses	Cada 15 liberaciones	
		CANTIDAD	Cambio Total 2,50 lbs (1,14 kg)	Cambio Total 8,5 fl. Oz. (250 ml)	
	CANTIDAD TOTAL REQUERIDA PARA UN AÑO DE OPERACIÓN (ESTIMADO)			7,50 lbs (3,42 kg)	17,0 fl. Oz. (500 ml)
COMENTARIOS			Ninguno	Ninguno	Ninguno

6.3.1 Disposición de residuos

En contexto, se debe mencionar y hacer parte del programa el tratamiento final de los aceites, si bien esta normado legalmente, se hace representación para formar conciencia de responsabilidad.

- **Aceite:** son de carácter residuo líquido peligroso, se deben envasar en los desechos en sus envases originales de fábrica y su disposición final es de forma temporal en la faena, para posteriormente su entrega a empresas encargadas de su tratamiento.
- **Paños contaminados:** son considerados un residuo sólido peligroso, se deben desechar en contenedores especiales y almacenar hasta el retiro de empresa especializada
- **Chatarra:** es un residuo industrial y se deben depositar en contenedores especiales y almacenar, su disposición final depende de la estrategia de manejo de desecho establecida.

6.3.2 Frecuencia de toma de muestra de aceite

Un punto de complemento al plan de mantenimiento actual es el de análisis de aceite ya que este dato entrega información muy completa del comportamiento del chancador y sus necesidades, es por eso que se presenta la propuesta de estandarización de toma de muestras de forma de mejorar el proceso mantenimiento preventivo.

Se deberá tomar una muestra de aceite inmediatamente después de la puesta en servicio del chancador para confirmar la eliminación de cualquier desecho de fabricación, en la Tabla 30 se entrega la frecuencia de toma de muestras de aceite recomendada para varios escenarios de operación.

Tabla 30: Frecuencia de toma de muestras de aceite (elaboración propia)

NUMERO DE MUESTRA	EVENTO	HORAS	DESDE
PRIMERO	OPERACIÓN INICIAL	16	PUESTA EN SERVICIO
SEGUNDO		80	ULTIMA MUESTRA
TERCERO		160	ULTIMA MUESTRA
CUARTO		320	ULTIMA MUESTRA
QUINTO		640	ULTIMA MUESTRA
	OPERACIÓN CONTINUA	640	ULTIMA MUESTRA
PRIMERO	REVISION MAYOR	16	PUESTA EN MARCHA
SEGUNDO		80	ULTIMA MUESTRA
TERCERO		320	ULTIMA MUESTRA

CUARTO		640	ULTIMA MUESTRA
--------	--	-----	----------------

Las frecuencias planteadas vienen dadas por las condiciones de operación y cantidad de material procesado, mencionado que el equipo de chancado es de la mayor capacidad en el mercado. Este proceso está fuertemente relacionado con el pensamiento Green, pues los componente relacionados con el insumo de aceite pertenece a un indicador critico si se mira desde el lado de la responsabilidad ambiental, mencionar que los procedimientos de disposición final de desechos como el aceite de lubricación un vez producido el recambio posee de forma legal su tratamiento establecido, además, La importancia de las tendencias de contaminación vienen dadas por el componente que se encuentre presente (FLSMIDTH S.A., 2014), para hacer más claro se presentan sus condiciones :

- **Hierro:** Un rápido aumento de la cantidad de hierro en el aceite lubricante es normalmente indicio de un desgaste acelerado o daño extremo de la excéntrica. Un aumento estable y lento de la cantidad de hierro en el aceite lubricante indica un desgaste normal.
- **Cobre o plomo:** Un rápido aumento de la cantidad de cobre o plomo en el aceite lubricante usualmente indica un desgaste acelerado o daño extremo de los bujes de la excéntrica interna y/o externa. Un aumento estable y lento de la cantidad de cobre o plomo en el aceite lubricante indica un desgaste normal.
- **Silicio:** Un rápido aumento de la cantidad de cobre o plomo en el aceite lubricante usualmente indica un desgaste acelerado o daño extremo del sello contra polvo del eje principal, o de la cubierta contra polvo o que está fallando el soplador de aire del sello contra polvo. Un aumento estable y lento de la cantidad de silicio en el aceite lubricante indica un desgaste normal.
- **Humedad:** Grandes cantidades de humedad presentes en el aceite lubricante son usualmente el resultado de un procedimiento imperfecto en el llenado de aceite o en la limpieza.

6.4 Equipos y herramientas de mantenimiento

A través del análisis de los procedimientos actuales de revisión de condición y más los propuestos tanto en plan de mantenimiento como en los programas de lubricación se pudo identificar los equipos y herramientas utilizadas, este pequeño proceso responde a peticiones de pensamiento Lean, pues está organizando la disposición de herramientas utilizadas, el listado se presenta por secciones.

Lubricación:

- Botellas de muestras de aceite limpias y selladas.
- Fuente de iluminación. potente
- Bomba de aspiración manual y manguera limpia.

Mecánica:

- Conjunto de alineamiento por láser con empalme de indicador de cuadrante
- Conjunto de indicador de cuadrante con base magnética.
- Conjunto de micrómetro externo de 0-300 mm (0-11,8 pulgadas).
- Conjunto de micrómetro interno de 0-100 mm (0-3,9 pulgadas).
- Tiras calibradoras de 0-3 mm (0-0,12 pulgadas).
- Detector sónico portátil.
- Detector térmico portátil.
- Estetoscopio mecánico.
- Medidor de prueba hidráulica 0-7,000 kPa (1,000 psi).
- Medidor de prueba hidráulica 0-28,000 kPa (4,000 psi).

Eléctrico:

- Medidor de volts - ohms (VOM).
- Tester de alta potencia.
- Amperímetro de abrazadera.
- Megóhmetro.
- Tester de continuidad con luz.
- Monitor/tester para la condición del motor de medio voltaje.

- Medidor de volts - ohms (VOM) de alta impedancia.
- Fuente independiente de voltaje, 1-30V DC.

6.5 Ampliación de cobertura de servicio

Como parte de la idea de formar un plan de mantenimiento integral y de fácil comprensión para el área, fueron presentadas las anteriores propuestas, pero de igual forma existen posibilidades de mejora en el ámbito de servicio que entrega el proveedor del equipo, esta ampliación de servicio consta de procesos que de momento el proveedor del equipo no considera en sus servicios entregados, debido a que a modo general se entregan servicios sobre equipos de fabricación propia, pero en el área de chancado, su mantenibilidad debiese ser completa independiente si el producto está en catálogo pues de todas formas tienen interferencia en el proceso y rendimiento del chancador de modo operativo e impacto medio ambiental.

6.5.1 Registro de parámetros de operación

Durante la operación del chancador se debe mantener un registro de las lecturas de los instrumentos que son parte del equipo o parte de los equipos auxiliares. Además, de registrar comentarios y observaciones acerca de las lecturas e interpretación de estas, estas pueden conformar un modelo que muestre la condición de la alimentación del chancador y del ambiente del chancador.

Estos registros representan una fuente de información muy valiosa para las áreas de mantenimiento y no solo para el área operativa, el personal de mantención debe tener comunicación con los fabricantes de los equipos para conocer los parámetros de diseño y con el área operativa obviamente para conocer los parámetros reales y poder planificar en base a la condición óptima para el equipo de chancado primario. Durante la operación del chancador se deben obtener e ingresar las lecturas de los instrumentos en un registro cada hora en una planilla simple o software que identifique instrumento y medición, cada vez que corresponda, se deben ingresar las observaciones correspondientes al registro. A continuación, aparecen los datos mínimos recomendados para el registro del chancador:

- Potencia del motor de transmisión del chancador
- Posición del manto

- Temperatura ambiente del aire
- Temperatura del aceite de retorno del chancador
- Temperatura del aceite del depósito
- Temperatura del aceite de retorno del enfriador
- Observaciones (permite que el operador escriba cualquier observación pertinente acerca de la alimentación, operación del chancador y los incidentes)

6.5.2 Rompe-rocas

Los rompedores de roca son equipos comunes, instalados y usados en una estación de chancador primario giratorio. Este equipo se usa comúnmente para manipular trozos de mineral de grandes dimensiones y de forma irregular dentro del chancador y para romper los trozos de alimentación que no se puedan manipular dentro del chancador para transformarlos en trozos pequeños que sí puedan entrar a la cámara de chancado. Este tipo de equipo no pertenece al catálogo de FLSmidth y es incorporado por parte de la empresa minera en el área de chancado de forma interna, si bien la empresa proveedora del equipo de chancado en ocasiones se encarga de su adquisición se realiza de proyecto anexo y no está incluido si no es bajo negociación. Entonces, la propuesta es integrar la instalación como parte de la venta del equipo de chancado si necesariamente esperar la negociación, de esta forma se asegura la selección según los conocimientos de las necesidades técnicas del chancador, esta responsabilidad no recae en fabricar los propios rompe-rocas, sino más bien en el trabajo de adquisición bajo el concepto de triangulación (compra a un proveedor externo), este modelo de negocio es dominado por empresas como FLSmidth y su evaluación es un desafío a futuro.

Según la experiencia en operación la incorporación y uso común de los rompedores hidráulicos de rocas son una variable importante en el aumento de eventos en que los escudos de la araña, las tapas de la araña, las placas de desgaste de la carcasa superior y las filas superiores de cóncavos han sido soltados o desgarrados de los chancadores por la colisión de operación de este equipo. Para tener una referencia del equipo mencionado en la Ilustración 6-1 se muestra una referencia gráfica.

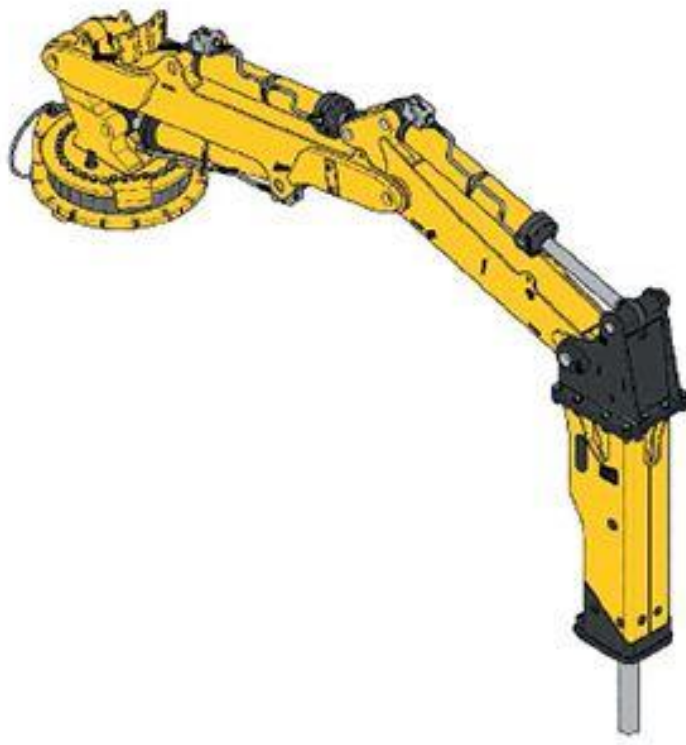


Ilustración 6-1: Referencia de equipo rompe-rocas (Maestranza Diesel, 2018)

- **Instalación correcta del rompedor de rocas**

El operador del chancador debe tener perfecta visibilidad del extremo de la piqueta, del buzón de vaciado completo del chancador y de la cámara de chancado desde los controles del rompedor de rocas. La visibilidad del buzón de vaciado y de la cámara de chancado no debe ser obstruida. Un circuito cerrado de televisión constituye una forma común de procurarse una visibilidad sin obstrucciones. Cuando se usa un circuito cerrado de televisión (CC TV), la ubicación del monitor es tan importante como la ubicación de la o las cámaras. El monitor de televisión debe estar en una posición que sea visible para el operador cada vez que use el rompedor de rocas.

- **Uso correcto del rompedor de rocas**

La función de un rompedor de rocas es aplicar la cantidad de fuerza requerida para romper cualquier roca de gran tamaño ubicada en algún lugar de la tolva de vaciado y de la cámara de chancado. Este requisito a menudo demanda el uso de un rompedor de rocas muy cerca de los componentes principales del chancador. Se debe tener cuidado de no tocar alguna parte

del chancador con alguna parte del rompedor, incluido el brazo o la camisa de la piqueta. El uso incorrecto del rompedor de rocas puede dañar los componentes del chancador como en la sección de la araña o bien en la fila superior de cóncavas, para evitar esto se debe contar con personal especializado.

6.5.3 Supresores de polvo

Otro punto de relevancia en el proceso es la generación de polvo, es relacionado con la gestión ambiental puesto que, si bien las faenas mineras en general se encuentran alejadas de sectores poblados para que sea un problema social, si lo es para el personal en operaciones por la gran cantidad de polvo que se libera por la descarga de los camiones a la cámara de chancado, este proceso es hecho por gravedad, solo se deja caer el mineral ROM, crean una gran cantidad de polvo al ambiente.

Si bien en algunas faenas se cuenta con el supresor de polvo este en general no tiene un programa de mantenimiento definido, pues este equipo al igual que los rompe-rocas no son proporcionados por el proveedor del equipo de chancado y su adquisición, instalación y mantenimiento son de plena responsabilidad del dueño del equipo. Es por esto que la propuesta es integrar este servicio a los planes del chancador, donde la justificación se hace obvia debido a la gran preocupación que existe a la hora de la contaminación por polvo a los sistemas.

Para mitigar la generación de polvo en el área de chancado primario, se propone un sistema de supresión de polvo (inyección de agua a presión); el cual consiste en un conjunto de 6 rociadores sobre la tolva de recepción, encargado de liberar una mezcla de agua-aire para disminuir la polución.

La emisión de agua fresca pulverizada ubicada estratégicamente en lugares donde la generación de polvo es mayor. Estos se encuentran en la zona de descarga de alimentación y la descarga de la faja transportadora en la parte inferior del chancador. Para el funcionamiento del sistema de supresión de polvo, el agua fresca debe ser impulsada por una bomba ubicada en el área de los componentes auxiliares. El flujo de agua impulsado por estas bombas hacia el sistema supresor de polvos del área de chancado primario según la altura del chancador, material procesado, experiencia de los operadores, y planificaciones anteriores es de aproximadamente $40 [m^3/h]$.

Por información de asociación de industria minera el sistema supresor de polvo que ha sido utilizado en distintas faenas mineras, se ha conseguido la eliminación hasta el 85% de las emisiones de polvo, La operación de estos sistemas se basa en la impregnación profunda de las partículas de polvo con agua, en donde el diseño del nebulizador es clave para controlar la proporción de partículas bajo $10[\mu m]$ y el perfil del chorro es específico para cada punto de aplicación (Portal Minero S.A., 2010).

Por último, debe existir el compromiso o bien entregar la responsabilidad de hacerse cargo del servicio por parte del proveedor del equipo de chancado, establecer programas de mantención preventiva y correctiva para los nebulizadores o boquillas, Bomba Centrífuga y Mangueras del sistema.

7. Validación de mejoras

Todas las propuestas se realizan según las herramientas planteadas en la sección 2.1 donde los planes de acción y programas de mantenimiento se tornan a agilizar por la aplicación de 5S en su generación, como también lo es a través de los análisis de modos de fallas para encontrar los puntos críticos del equipo y trabajar sobre ellos como prioridad, además, el mantenimiento autónomo es la base de la documentación elaborada de poder identificar los procedimientos con claridad y por último, un sistema de orden de trabajo que busca entregar la información necesaria y promover el compromiso con los principios de operación y responsabilidad ambiental.

En general los procedimientos no se ven involucrados con la operatividad del equipo y solo tiende a una mayor organización de tiempo al realizar el mantenimiento, donde se espera y bajo pendiente evaluación reducción de costos, menos eventos no planificados, menos detenciones, menores desechos y mejor manejo de estos y menor utilización de insumos.

7.1 Validación de planes y programas

Según lo expuestos en las secciones 6.1, 6.2 y 6.3 son las principales propuestas de mejora las cuales se realizan bajo el concepto de mantenimiento Lean-Green, donde la estructura de realización se hace según lo planteado en la sección 2.1, donde se establecen los pasos de inspección, monitoreo, mantenimiento de rutina, revisión, rearmar y reparar. Todos estos conceptos bajo su definición son apreciables en el plan de mantenimiento propuesto.

De aquí se busca como lo es característico del pensamiento lean la eliminación de mudas y como la estrategia es aplicada en el mantenimiento se busca obviamente la eliminación de las mudas interpretadas bajo este ámbito, para ejemplificar esto se hace el listado de comprobación:

Mantenimiento improductivo: como estable un plan estructurado separado por frecuencias y por sección del equipo. Se elimina la posibilidad de sobre mantener el equipo.

Espera de recursos: se identifican las herramientas utilizadas para los trabajos, se establece una planificación formal y se generan los documentos necesarios para llevar a cabo los trabajos, esto elimina la generación de esta muda.

Mantenimiento centralizado: Se establece como base del servicio de mantenimiento se realiza a través de la contratación específica, lo que evita la lejanía y desconocimiento del personal, pues van preparados para el mantener en específico el equipo

Pobre administración de inventario: los análisis de monitoreo de condición apuntan a esta muda, entregando una herramienta útil a la hora de establecer la necesidad de solicitud de repuestos.

Movimiento innecesario: el mantenimiento de este equipo es realizado en su zona de trabajo por la envergadura de la maquina lo que evita esta muda.

Mantenimiento pobre: el planteamiento de estas mejoras y aplicación de las estrategias apuntan a la mejora y a enriquecer los procedimientos, evitando que la desprolijidad reste valor a la acción de mantener.

Manejo ineficiente de información: se considera que se proporciona la información necesaria sin exceder con tan de una comprensión fácil por parte del personal involucrado, es una forma de generar valor.

Mala utilización de recursos: tanto los planes como programas tiene la particularidad de establecer una correcta utilización de los recursos, en específico el tratamiento de aceite ejemplifica la generación de valor y eliminación de esta muda.

Se cumple con lo propuesto por el mantenimiento Lean de especificar el valor, identificar sus fuentes y flujo, generar un aumento de agregación de valor y buscar la mejora continua al proponer la ampliación de los servicios.

7.2 Beneficios de cambio de cóncavas

Procesos como los descritos en las propuestas de mejoras, son los recambios de cóncavas los cuales son uno de los principales insumos críticos del sistema, pues su disposición final no parte de los programas de mantenimiento, lo cual, según las guías de gestión del manejo de

insumos y desechos esta incorrecto, es por esto que se debe proponer un correcto tratamiento final.

Realizando un estudio del comportamiento de cóncavas en faenas mineras se muestra en la Ilustración 7-1 la capacidad de procesamiento del juego de cóncavas del equipo de chancado analizado y la cantidad de material procesado.

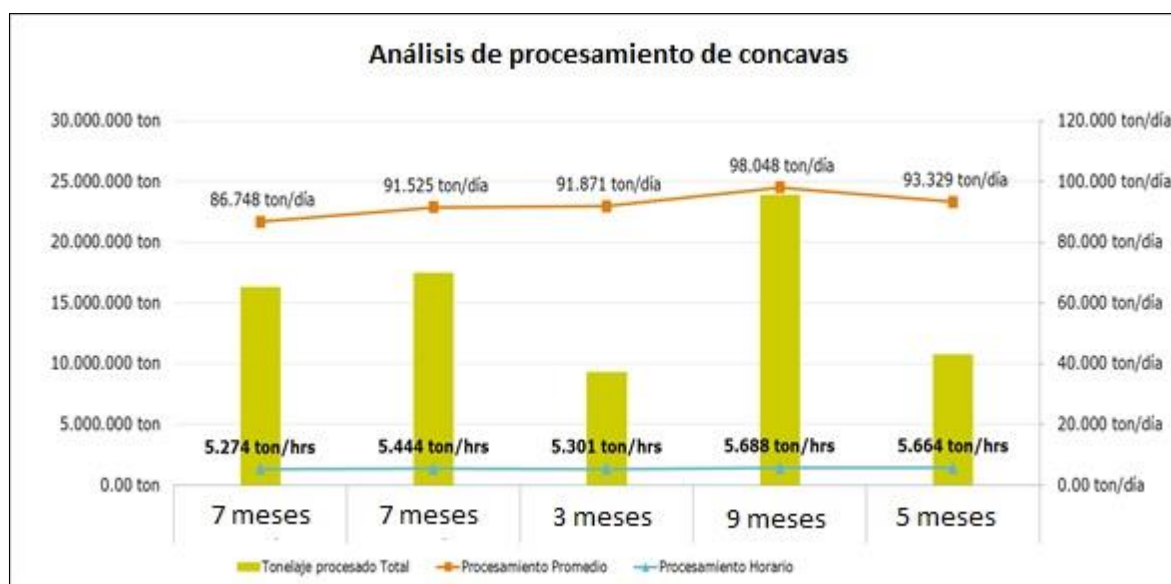


Ilustración 7-1: Grafico de procesamiento de cóncavas (FLSMIDTH S.A., 2014)

Este grafico muestra que se procesan cerca de 5.500 [Ton/hrs], lo que equivale a cerca de 90.000 [Ton/día] y donde cada barra representa un juego de cóncavas distinto en el mismo chancador, entonces su vida útil se estima en un promedio cercano a los 7 meses. El hecho de llevar un análisis de procesamiento de tonelaje de mineral ya responde a las metodologías Green donde está definida la estrategia de recambio necesario de este componente, se identifica como fuente de desecho a las cóncavas, se mide su comportamiento y cantidad de desecho se obtiene por diseño pues las cóncavas se recambia el juego completo.

Ahora bien, faltan pasos dentro de la estrategia Green donde se debe analizar el desecho tratado y generar un plan de acción sobre él. Es primordial la detección y control de las cóncavas que se encuentren en mal estado y más aun las que ya se encuentran desgastadas para programar de forma eficiente su recambio, establecido en los programas de mantenimiento propuestos y el procedimiento de trabajo según la empresa proveedora. Entonces, ¿Cuál es la mejora que se puede otorgar al manejo de este insumo?, según lo

establecido en la sección 2.2.2 donde la referencia técnica es el modelo 3R de reducción, reusar y recuperar. Se opta por este último puesto que el material de las cóncavas es de gran valor.

En concreto es un procedimiento de reciclaje de cóncavas donde su valor por material solamente de acero al magnesio es de aproximadamente 4 [US\$/Kg] y considerando que el juego completo tiene un peso de 30.000 [Kg], significa una ganancia limpia de US\$ 120.000 en cada recambio de cóncavas si se opta por la venta de material para ser recuperado por fundiciones o proveedores de cóncavas. Valores obtenidos de fuentes oficiales de la empresa de servicio (FLSMIDTH INC., 2012).

Si esto se aplica a los servicios que entrega FLSmidth como proveedor de servicios de cambio de cóncavas, por parte de la adquisición donde se maneja un margen de ganancia del 20% aproximadamente se aumentaría considerablemente al 50% de ganancia, por conceptos de solo la compra del componente, si ahora se establece según el servicio el cual posee un margen de 22% mensual en conceptos de recambio de cóncavas se alcanza un aumento de beneficio del 7% por concepto de servicio entregado.

Este análisis y procedimientos se realiza para el tratamiento de cóncavas pues el denominado insumo y desecho crítico, pero se plantea el desafío de extender el análisis de aplicación de 3R a demás elementos de recambio siendo el más cercano el revestimiento del manto o de estructuras de protección y de otros componentes de menos volumen como los fabricados de bronce u otro tipo. De esta forma se demuestra la validez de la aplicación de estrategias de gestión traen beneficios no solo operacionales, sino en agregado de valor al área económica.

7.3 Procedimientos de trabajo seguro

Las actividades de mantenimiento establecidas como resultado de la aplicación de Lean y Green deben ser acorde a políticas de seguridad de cuidado del personal, como indicador de accidente es muy importante para el pensamiento Green y su responsabilidad medioambiental el cuidado de las personas como parte de este.

Todas las personas que conformen cuadrillas de trabajo en el chancador primario deben estar calificadas para la realización del trabajo y contar con los equipos de protección personal:

- Casco de seguridad

- Mascara con filtro de polvo
- Zapatos de seguridad
- Lentes claros de seguridad
- Guantes
- Sujeción de cuerda de vida
- Herramientas en buen estado

Por otro lado, se debe concientizar de los riesgos potenciales en las acciones de los trabajos de mantenimiento, los cuales son de carácter riesgoso para la salud del personal, entre ellos se puede encontrar:

- **Equipos en movimiento:** existen procedimientos donde es necesario la funcionabilidad del equipo, aquí se debe mantener sumo cuidado por el riesgo de atrapamiento o golpes. Si el procedimiento se puede realizar con el equipo en detención se debe preferir, avisando de forma notoria el inicio y termino de las acciones.
- **Inhalación de polvo:** es importante la prevención de respirar en ambientes con mucho polvo en suspensión, el uso de mascara debe ser contante.
- **Golpes:** los procedimientos de remoción principalmente son realizados de forma manual, como los procedimientos de instalación necesitan de levantamiento por medio de grúas, se debe tomar las precauciones del movimiento de la componente y el uso de equipos de protección.
- **Riesgo de caída:** existen trabajos y procedimiento que se realizar a desnivel de altura por lo cual es importante constar con la sujeción de seguridad adecuada.

Como parte de las filosofías del mantenimiento autónomo se debe ser claro en la necesidad de auto-cuidado por sobre la realización de las labores, nunca se debe realizar un procedimiento de trabajo si este no cuenta con los sistemas de seguridad adecuados.

CONCLUSIONES

La investigación cumple con lo planteado como objetivo de presentar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento de un chancador primario, con un enfoque en el manejo de los desechos e insumos, asegurando la responsabilidad ambiental del proceso. Para llegar a esto fue necesaria la búsqueda de metodologías que cumplieran con esta necesidad, entonces cobran importancia los conceptos de mantenimiento Lean y Green, que se encargan de producir una mejora y asegurar la visión medioambiental, respectivamente.

No solo eso fue necesario, ya que contextualizar un área específica como el mantenimiento y su evolución, requiere de estudio para comprender el objetivo y necesidades de este tipo de procesos y como se llega producir una programación que asegure lo establecido como base en la referencia de gestión ambiental, como lo son las normas ISO. Además, se hizo necesario establecer un tipo de análisis de falla, donde se optó por uno de la forma cualitativa y cuantitativa.

El equipo de chancado que fue seleccionado debió ser estudiado en profundidad, tanto en su funcionalidad, como en sus componentes, esto es el principio del cumplimiento de uno de los objetivos específicos, para completarlo fue necesario aplicar un análisis de criticidad y así jerarquizar según operación y medioambiente, utilizando un método cuantitativo y cualitativo, como ya se había definido es el análisis FMECA, entregando como resultado de componentes críticos el eje principal, el manto, las cóncavas, el sistema hidráulico y bombas. Esta información es la resolución de otro objetivo específico. Realizando una gestión de falla se logró el registro de las soluciones ante estos imprevistos de funcionamiento, conformando la primera actividad generadora de valor.

Debido a la característica de adquisición del equipo el cual es parte del catálogo de FLSmidth y que es a este al cual se le aplica la investigación, análisis y propuestas, mencionando que estos equipos una vez son comprados por la empresa minera, esta no está en la obligación de seguir o contratar los planes de mantenimientos estándares proporcionado por el proveedor, de aquí la importancia de integrar procedimientos y optimizarlos para que sea más atractivo el servicio prestado. Entonces de todas formas es necesario analizar las actividades actuales

de mantenimiento, dado a conocer que se tratan de actividades de monitoreo de condición para los componentes más críticos y en consecuencia identificando los insumos y desechos más críticos, como lo son las zonas revestidas (protector de araña, manto y cóncavas) y los insumos de aceite.

En consideración de todo lo expuesto y siguiendo los métodos establecidos en principio de la investigación se proponen planes de mantenimiento en distintas frecuencias de las secciones como conjunto del chancado, sistema de lubricación, enfriadores, sistema de lubricación de araña y ajuste hidráulico, esto se presenta como un plan elaborado en base la metodología Lean, además establecimiento de la importancia del cuidado de insumos como el aceite, proponiendo programas de lubricación que aseguren su buen manejo, de igual forma para las zonas de revestimiento y el análisis de disposición final es muy importante siguiendo el lineamiento de la metodología del mantenimiento Green y de forma se continua agregando valor al proceso de mantenimiento. Junto con esto, el establecer un programa para el monitoreo de contaminante de aceite que entrega información importante respecto a la operación, como también identificación de equipo y herramientas utilizadas en los distintos procesos del área.

Terminando se debe mencionar las propuestas de ampliación de servicio, como el procedimiento de registro de parámetros operativos para realizar el cruce de información y así verificar la efectividad del mantenimiento, como también proponer posibles evaluaciones de responsabilizarse por la adquisición y/o servicios de mantenimientos de equipos complementarios muy influyentes en la operación del chancador como en los indicadores de responsabilidad ambiental, estos equipos son el rompe-rocas y supresores de polvo respectivamente y cerrando con la validación y haciendo un evidente el impacto que producen estas mejoras.

En conclusión, basándose a lo presentado se estima que los objetivos son cumplidos con esta investigación, la cual es ampliable a otros equipos tanto del rubro minero como de otra índole, se deja planteado como posibilidad de trabajo futuro.

BIBLIOGRAFÍA

ABREU, M. Florentina, ALVES, Anabela C. y MOREIRA, Francisco. 2017. Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. *Energy*. 2017, Vol. 137, págs. 846-853.

AGUILAR, J. 2010. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad. 2010, Vol. 25.

ARATA, Adolfo. 2009. *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. Santiago : RIL Editores, 2009.

BALUCH, Nazim, ABDULLAH, Che Sobry y MOHTAR, Shahimi. 2012. TPM and lean maintenance—A critical review. *interdisciplinary journal of contemporary research in business*. 2012, Vol. 4, 2, págs. 850-857.

BESSANT, Jo. 1994. Rediscovering continuous improvement. *Technovation*., 1994, Vol. 14, 1, págs. 17-29.

Bowles, J. B., & Bonnell, R. D. 1998. *Failure Mode Effects and Criticality Analysis: What it is and How to use it*. In *TOPIC IN RELIABILITY AND MAINTAINABILITY AND STATISTICS, ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM*. s.l. : Anaheim: IEEE., 1998.

BRUNE, Jürgen F. 2010. *Extracting the Science: A Century of Mining Research*. s.l. : SME, 2010.

EPA. 2007. Lean & Environment Toolkit. www.epa.gov/lean. [En línea] 2007. <https://www.epa.gov/lean/lean-environment-toolkit-content-acknowledgments>.

Espinoza Montes, C. A. 2010. *Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas*. Huancayo, Peru : Imagen grafica SAC., 2010.

ESTY, Daniel, ESTY, Daniel C. y SIMMONS, P. J. 2011. *The green to gold business playbook: how to implement sustainability practices for bottom-line results in every business function*. s.l. : John Wiley & Sons, 2011.

FERCOQ, Alain. 2013. Combining lean and green in manufacturing: a model of waste management. *IFAC Proceedings Volumes*. 2013, Vol. 46, 9, págs. 117-122.

FFE MINERALS USA INC. 2002. *Engineering Instructions*. MEMBERS OF THE FLSMIDTH ENGINEERING GROUP. 2002. Acceptable epoxy grouts for Crusher.

FLSMIDTH. 2018. flsmidth. [En línea] 2018. <http://www.flsmidth.com/>.

FLSMIDTH INC. - AKERSOLUTION. 2018. Data Sheet N° 210-M-DS-052 Gyratory Crusher Rev. 0. [Document No. 60099035 / 60099036 / 60099037]. 2018.

FLSMIDTH INC. 2012. CRUSHER ERECTION AND MAINTENANCE DATA. [DOCUMENT NO.70017087 V 2.0]. 2012.

—. **2011.** INSTALLATION AND OPERATION MANUAL. [ed.] D. Tarreto. *1525mm x 2870mm (60" X 113") TRAYLOR® TYPE "NT" GYRATORY CRUSHER*. [DOCUMENTO No. 59001271]. Copiapo : s.n., 2011.

FLSMIDTH S.A. 2014. Gestión en Chancadoras Primarios. *2 Mineral Processing: Primary Crushing*. [Doc. press master]. 2014. Presentacion GOLDCORP PEÑASQUITO.

GARETTI, Marco y TAISCH, Marco. 2012. Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control*. 2012, Vol. 23, 2-3, págs. 83-104.

I.S.O. 2015. *Norma 14001:2015 Sistema de gestion ambiental*. 2015.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, M. 2013. *Sustainable Maintenance-the next generation of maintenance management*. s.l. : International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH, 2013.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, Malgorzata. 2014. Integrating lean and green paradigms in maintenance management. *IFAC Proceedings Volumes*. 2014, Vol. 47, 3, págs. 4471-4476.

LEVITT, Joel. 2008. *Lean maintenance*. s.l. : industrial press inc, 2008.

Maestranza Diesel. 2018. www.md.cl. [En línea] 2018. <http://www.md.cl/phone/picarocas.html>.

MOSTAFA, Sherif, DUMRAK, Jantanee y SOLTAN, Hassan. 2015. Lean maintenance roadmap. *Procedia Manufacturing*. 2015, Vol. 2, págs. 434-444.

MOUBRAY, J. 2004. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II.* s.l. : Aladom, 2004.

MULLER, Alexandre, MARQUEZ, Adolfo Crespo y IUNG, Benoît. 2008. On the concept of e-maintenance: Review and current research. *Reliability Engineering & System Safety*. 2008, Vol. 93, 8, págs. 1165-1187.

NARAYAN, Venkatraman. 2012. Business performance and maintenance: How are safety, quality, reliability, productivity and maintenance related? *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2012, Vol. 18, 2, págs. 183-195.

OHNO, Taiichi. 1988 . *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* s.l. : CRC Press, 1988 .

Portal Minero S.A. 2010. *Guía de Ingeniería en Operaciones Mineras II.* s.l. : Portal Minero Ediciones, 2010.

Ruiz, R. 2007. *Metodo científico y sus etapas.* Ciudad de mexico : s.n., 2007.

SMITH, R. 2004. What is Lean maintenance? Element that need to be in place for sucess. 2004.

STUCHLY, Vladimir y JASIULEWICZ-KACZMAREK, Malgorzata. 2014. MAINTENANCE IN SUSTAINABLE MANUFACTURING. *LogForum*. 2014, Vol. 10, 3.

TAKATA, S, F. Kirnura, F.J.A.M. van Houten, E. Westkamper, M. Shpitalni, D. Ceglarek, J. Lee,. 2004. CIRP Annals. *Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management*. 2004, Vol. 53, 2, págs. 643-655.

TIMKEM. 2008. *Bearing Maintenance Manual.* 2008.

WOMACK, James P. y JONES, Daniel T. 1997. Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*. 1997, Vol. 48, 11, págs. 1148-1148.

ANEXO

Anexo 1: Listado de causas de fallas chancador primario

Nº	ID	CAUSA
10	1.a	Apilamiento en cámara chancadora.
11	1.b	Fragmentos de hierro.
12	1.c	Bajo o nulo flujo de aceite de lubricación.
13	1.d	Tubería rota.
14	1.e	Eje de la bomba de lubricación trabado.
15	2.a	Filtración de aceite en el ajuste hidráulico.
16	2.b	Filtración de válvula de relevo.
17	2.c	Filtración de solenoide o válvulas de chequeo.
18	2.d	Sellos de pistón hidráulicos gastados o defectuosos.
19	3.a	Aire en el sistema de ajuste hidráulico.
20	4.a	Desgaste excesivo.
21	4.b	Oscilación del manto en el núcleo.
22	5.a	Carga excesiva causa ruido cerca de la parte inferior del chancador.
23	6.a	Torque inadecuado.
24	6.b	Movimiento entre secciones de la carcasa.
25	6.c	Decrecimiento del cóncavo de manganeso.
26	7.a	Motor del ventilador del radiador si se suministra no se está ejecutando.
27	7.b	Enfriador si no suministrado funcionando correctamente.
28	7.c	Bomba de circulación de enfriamiento o motor no funciona correctamente.
29	7.d	Válvula motorizada automática no está funcionando.
30	8.a	Ajuste del chancador está demasiado apretado.
31	8.b	Comienzo de problemas con el cojinete.
32	8.c	Apilamiento de rocas en cámara chancadora.
33	9.a	Material frotado contra el sello de polvo, ingresando polvo.
34	10.a	Tuercas araña demasiado apretadas.
35	10.b	Revestimientos de las cavidades de la araña en condiciones deficientes.
36	10.c	Extremos de la araña en condiciones deficientes.

37	10.d	Falta de lubricación.
38	11.a	Falta de lubricación.
39	12.a	Eje principal en condiciones deficientes.
40	12.b	Material que sobrepasa el sello de lubricación.
41	13.a	Falta de lubricación.
42	14.a	Desgaste del ajuste entre la tapa de la araña y la araña.
43	14.b	La tapa ha sido estirada por golpes del material que se vierte en ella.
44	15.a	Pernos de la araña están sueltos.
45	16.a	Revestimiento de la cavidad de la araña está gastado.
46	17.b	Desgaste por molienda de la roca en la superficie.
47	18.a	El chancador está atascado por un objeto no chancable.
48	18.b	Cóncavos son demasiado delgados.
49	19.a	Instalación deficiente.
50	20.a	Condición es causada por la roca chancada.
51	21.a	Dañado al remover cóncavos.
52	22.a	Acción abrasiva de la roca chancada.
53	23.a	Instalación deficiente de revestimientos.
54	24.a	Objetos extraños entre el muñón y el cojinete.
55	25.a	Sobrecalentamiento del muñón.
56	26.a	Dañado durante instalación.
57	27.a	Chancador gira en sentido contrario al reloj.
58	28.a	Anillos rotos.
59	29.a	Fin de su vida útil.
60	29.b	Falla prematura.
61	30.a	Objeto extraño ingresa a la malla del piñón y engranaje cónico.
62	31.a	Falta de lubricación.
63	31.b	Rebalse o atascamiento de la roca en la cámara chancadora.
64	32.a	Fin de vida útil.
65	33.a	Sello gastado, fin de vida útil.
66	33.b	Manga del sello gastado, fin de vida útil.
67	33.c	Atascamiento del drenaje de la camisa del contra eje.
68	34.a	Falta de lubricación.

69	34.b	Gastado, fin de vida útil.
----	------	----------------------------

Anexo 2: Listado de soluciones estándar de fallas chancador primario

Nº	ID	SOLUCIÓN
11	1.a	▪ Limpie la cámara bajando el conjunto del eje principal. ▪ Baje el eje principal antes de comenzar. ▪ Reajuste el motor de transmisión principal del chancador y vuelva a encenderlo. ▪ Verifique los ajustes del chancador para asegurarse que no sean menores que los recomendados. ▪ Verifique el área de descarga de la cámara del chancador para asegurarse que no está atascada.
12	1.b	▪ Remueva la obstrucción del conjunto del eje principal. ▪ Reajuste el motor de transmisión principal y vuelva a encender. ▪ Si el conjunto del eje principal no puede bajarse porque la obstrucción está demasiado apretada, se debe limpiar la cámara del chancador. ▪ No intente levantar el conjunto del eje principal si no puede bajarse debido a daños posibles a los cojinetes.
13	1.c	▪ Verifique calentadores para aceite de lubricación y termostatos.
14	1.d	▪ Inspeccione todas las tuberías buscando filtraciones o roturas excesivas.
15	1.e	▪ Desmonte la bomba para revisar razón de atascamiento de la bomba.
16	2.a	▪ Revise tuberías del sistema de ajuste hidráulico en busca de filtraciones.
17	2.b	▪ Reemplace sellos en válvula. ▪ Reemplace válvula.
18	2.c	▪ Reemplace sellos en válvula. ▪ Reemplace válvula.
19	2.d	▪ Determinar causas de falla del sello si es prematuro y corregir. ▪ Instale sellos nuevos.
20	3.a	▪ Sangre el aire atrapado en el sistema hidráulico.

		▪ Carga del Acumulador del Sistema de Ajuste Hidráulico.
21	4.a	▪ Revisar en forma ocasional que el manto esté apretado, cerrando la alimentación para que pueda observarse la cámara chancadora.
22	4.b	▪ A medida que la última parte de la alimentación se esté chancando, estudie la unión entre la tuerca de cabeza y el manto. Si el manto está suelto, habrá movimiento en la unión, apretar.
23	5.a	▪ Inspeccione la cesta de la criba del estanque de lubricación, buscando cantidades excesivas de bronce o copos de plomo.
24	6.a	▪ Reemplace los pernos rotos. ▪ Revise torque en todos los pernos.
25	6.b	▪ Reemplace los pernos rotos. ▪ Revise torque en todos los pernos. ▪ Si la unión ahusada se destruye, ahusé soldando y esmerilando.
26	6.c	▪ Reemplace los pernos rotos. ▪ Revise torque en todos los pernos. ▪ Desconche las uniones.
27	7.a	▪ Inspeccione los radiadores y limpie los escombros. ▪ Revise la operación de los motores de los ventiladores. ▪ Revise la operación del circuito de enfriamiento.
28	7.b	▪ Inspeccione el funcionamiento del refrigerador. Corregir fallas de funcionamiento.
29	7.c	▪ Inspeccione la operación de la bomba y el motor y corregir malfuncionamientos.
30	7.d	▪ Reemplace válvula motorizada automática.
31	8.a	▪ Revise el ajuste del chancador y haga correcciones según se requiera.
32	8.b	▪ Revise la cesta de la criba del depósito de aceite lubricante buscando cantidades excesivas de bronce y copos de plomo. ▪ Si la cantidad de bronce y copos de plomo es excesiva, desmonte el chancador e inspeccione los cojinetes.

33	8.c	▪ Revise la descarga en la cámara chancadora en busca de atascamientos. ▪ Revise el ajuste del chancador para asegurarse que no sea menor que lo recomendado. ▪ Revise la regulación de la alimentación.
34	9.a	▪ Inspeccione la descarga de la cámara chancadora frecuentemente para determinar si el material está frotándose material contra el sello de polvo. ▪ Revise si el sistema de presurización de aire está funcionando adecuadamente.
35	10.a	▪ Siga cuidadosamente el torque recomendado de pernos de tensión en tuercas.
36	10.b	▪ Remueva la araña emparejando el revestimiento reajuste la araña y revista nuevamente las cavidades.
37	10.c	▪ Remueva asperezas o suciedades.
38	10.d	▪ Cubra la cavidad de la araña con lubricante.
39	11.a	▪ Repare el sistema de lubricación de la araña. ▪ Revise la manguera de suministro de grasa dentro del brazo de la araña, en busca de filtraciones y los revestimientos en busca de filtraciones, operación de la bomba y del controlador.
40	12.a	▪ Revise la condición del muñón del eje principal. Si es posible, pula la superficie del muñón o reacondiciónelo soldando o esmerilando. ▪ Si el muñón ha sido encajado con una manga, reemplace ésta.
41	12.b	▪ Instale un sello nuevo. ▪ Disminuya el nivel de rocas alimentadas al chancador.
42	13.a	▪ Revise el sistema de lubricación en su operación y en la cantidad de envío de grasa.
43	14.a	▪ Reemplace la tapa. ▪ Revise el diámetro del ajuste en la tapa de la araña. ▪ Reconstrúyala si está demasiado desgastada.

44	14.b	Reemplace la tapa.
45	15.a	Apriete las tuercas del perno de la araña.
46	16.a	Revista nuevamente las cavidades de la araña.
47	17.b	Reemplace las protecciones de la araña.
48	18.a	Mantenga los objetos no chancables fuera de la cámara chancadora.
49	18.b	Revise el grosor de los cóncavos y hacer reemplazos según se requiera.
50	19.a	Seguir las instrucciones de instalación de cóncavos.
51	20.a	Contacte a proveedor por la posibilidad de utilizar cóncavos de aleación.
52	21.a	- Reemplace el anillo de segmentación. - Si es posible, repare el anillo.
53	22.a	- Reemplace revestimientos según se requiera. - Algunos revestimientos pueden repararse soldando en bloques de manganeso.
54	23.a	- Apriete pernos o tuercas. - En algunos casos, es aconsejable soldar por puntos las tuercas a los pernos. - Suelde por puntos las tuercas al interior de la carcasa inferior ya que no son visibles durante la operación del chancador.
55	24.a	- Alise las ranuras si es posible. Si un muñón está en muy malas condiciones, podría tener que reparar el eje principal. - Rastree y elimine las razones del ingreso de elementos extraños al área entre el muñón del eje y el cojinete.
56	25.a	- Pula la descoloración. - Revise y corrija el mal funcionamiento del sistema de lubricación y sistema de enfriamiento.
57	26.a	Reemplace el anillo de sello del polvo roto teniendo cuidado durante la instalación.
58	27.a	Apriete nuevamente la tuerca de cabeza.

		- Reinstale pasadores. - Revise la rotación del drive y asegúrese que esté según las indicaciones.
59	28.a	Revise el movimiento libre del laberinto del eje principal.
60	29.a	- Reemplace el engranaje. - Contacte a proveedor para determinar posibilidad de revertir la dirección del drive.
61	29.b	- Reemplace el engranaje. - Revise condiciones del aceite lubricante para determinar si está sucio. - Revise la operación de filtros para determinar si están desviando el aceite lubricante. - Cambie los elementos del filtro.
62	30.a	- Si es posible, pula las orillas puntiagudas de los dientes desbarbados del engranaje cónico. - Reemplace en engranaje cónico. - Inspeccione las condiciones del piñón y reemplácelo según se requiera.
63	31.a	- Revise el sistema del aceite lubricante. - Reemplace cojinetes.
64	31.b	- Revise que los indicadores de nivel de la tolva debajo del chancador estén operando correctamente. - Regule alimentación al chancador. - Reemplace cojinetes.
65	32.a	Reemplace anillo de desgaste del excéntrico
66	33.a	Reemplace el sello.
67	33.b	Reemplace sello y manga.
68	33.c	Limpie orificio de drenaje en la camisa del contra eje.
69	34.a	- Rellene el empalme con lubricante especificado. - Bombee grasa al empalme hasta que comience a deslizarse por el sello.
70	34.b	Reemplace empalmes.

Anexo 3: Criterio de remplazo de piezas chancador

7.2		CRUSHER ERECTION AND MAINTENANCE DATA - FLSMIDTH	
		Contract number	
		Project Name	
WEAR REPLACEMENT CRITERIA			
Crushing Surfaces		Replace the crushing surfaces when the product size cannot be maintained, or when the usual capacity can not be maintained, or when there is a pronounced and consistent increase in the crusher operating horsepower, or when there is a pronounced concave area worn into the lower row of concaves, or when there is a pronounced concave area worn into the lower mantle, or when there are cracked or split parts.	
Protective Surfaces		Replace the spider arm shields, spider cap, top shell wearing plates, bottom shell outer wall liners, bottom shell rib and counter shaft housing shields and liners when these components are about to wear through, or when there are cracked or split parts.	
Spider Bushing	01.02.01.05	inches	mm
Replace the spider bushing when a feeler gauge greater than 0.106 2.70 can be inserted between the main shaft (or main shaft sleeve) and the spider bushing all the way around the bottom of the spider bushing			
Inner Eccentric Bushing	01.08.01.09	inches	mm
Replace the inner eccentric bushing when the inside diameter of the inner eccentric bushing is greater than		42.252	1073.21
Outer Eccentric Bushing	01.05.01.05	inches	mm
Replace the outer eccentric bushing when the inside diameter of the outer eccentric bushing is greater than		54.324	1379.84
Eccentric Wearing Ring	01.07.01.05	inches	mm
Replace the eccentric wearing ring when the thickness of the eccentric wearing ring is less than		1.938	49.23
Main Shaft Wearing Ring	01.10.02.21	inches	mm
Replace the main shaft wearing ring when the thickness of the main shaft wearing ring when measured at the center is less than		3.331	84.61
Center Wearing Ring	01.09.03.09	inches	mm
Replace the center wearing ring when the thickness of the center wearing ring when measured at the center is less than		2.663	67.65
Bottom Piston Wearing Ring	01.09.03.07	inches	mm
Replace the bottom piston wearing ring when the thickness of the bottom piston wearing ring is less than		2.453	62.31
Upper and Lower Piston Bushings	01.09.01.15 & 17	inches	mm
Replace the upper and lower piston bushings when the inside diameter of the upper and/or lower piston bushings are greater than		38.019	965.70
Dust Seal Ring Lower (Nylon)	01.10.03.19	Replace dust seal ring when less than 0.5mm clearance exists between bolt head and dust seal ring lower surface	
Dust Seal Packing	01.10.03.21	Replace dust seal packing if continuous contact around dust seal bonnet does not exist	
Dust Seal Bonnet	01.05.01.07	inches	mm
Replace the dust seal bonnet when the inside diameter of the dust seal bonnet is greater than		54.054	1372.97
or the outside diameter of the dust seal bonnet is less than		56.444	1433.67
Main Shaft Contact Seal	01.10.03.09	inches	mm
Replace the main shaft contact seal when the outside diameter of the main shaft contact seal is less than		53.946	1370.23

Main Shaft Sleeve (or Spider Journal)	01.10.03.05		
Replace the main shaft sleeve or repair the main shaft spider journal area when		inches	mm
the outside diameter of the main shaft sleeve or spider journal area is less than		30.899	784.84
Main Shaft Inner Eccentric Bushing Journal	01.08.01.09		
Repair the main shaft inner eccentric bushing journal area when the		inches	mm
diameter of the main shaft inner eccentric bushing journal area is less than		41.748	1060.40
Eccentric	01.08.01.03		
Replace the eccentric when the outer diameter of the eccentric is less than		53.676	1363.37
or when the outside diameter of the eccentric is oval to an amount greater than		0.071	1.81
as determined by measuring diameter of the eccentric at two places 90 degrees from each other and subtracting the smallest measurement from the largest measurement			

Anexo 4: Programa de mantenimiento preventivo diario

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO	DIARIO
SECCION: <i>CONJUNTO DEL CHANCADOR</i>	
ITEM	TAREAS
Condiciones Operativas Generales	Observe cuidadosamente la operación del chancador buscando condiciones inusuales como sonidos, olores, temperatura excesiva y vibración.
Cojinete de la Araña	- Cuando sea visible, observe el área entre la araña y el manto buscando exceso de grasa. - Cuando el envío de grasa está correcto, haga una inspección exhaustiva de cojinete buscando desgaste o daño excesivo.
Pernos y Tuercas de Carcaza y Araña	- Inspeccione los pernos de la carcaza y araña por ítems perdidos y señales de que estén sueltos. - Haga ajustes y reemplazos según se requiera.
Empalmes de la extensión del contra-eje	- Observe la operación de la extensión del contra eje buscando ruidos y vibraciones inusuales. - Repáre según se requiera.
Suministro de aceite de lubricación	- Revise los medidores de flujo del suministro de aceite lubricante para asegurarse que el flujo es parejo y se mueve a la velocidad de flujo correcto. - Revise las mangueras, cañerías y fittings por daños y filtraciones. - Repáre según se requiera.
Retorno del aceite lubricante	- Revise las mangueras, cañerías y fittings de retorno por daños y filtraciones. - Revise la temperatura del aceite de retorno. - Haga inspecciones más exhaustivas y repáre según se requiera.

SECCIÓN: SISTEMA LUBRICACIÓN	
ITEM	TAREAS
Bombas del aceite de lubricación	• Revise la bomba del aceite operativo por condiciones inusuales como sonidos, olores, temperatura excesiva y vibración. • Haga inspecciones más exhaustivas y repare según se requiera.
Depósito	• Revise el nivel de aceite en el depósito con un calibrador de vista. • Durante la operación normal el nivel debe estar en la marca del calibrador.
Válvula de Relevo de Presión	• Revise que las válvulas de relevo de presión no estén traqueteando y no estén demasiado calientes. • Revise la presión en los cables aguas debajo de las válvulas para una operación pareja.
Mangueras, Cañerías y Fittings	• Revise todas las mangueras, cañerías, empaquetaduras, sellos y fittings por filtraciones. • Repare según se requiera.
SECCIÓN: ENFRIADORES	
ITEM	TAREAS
Enfriadores (radiadores)	• Revise los enfriadores por daños y filtraciones. • Haga reparaciones según se requiera.
Ventiladores Enfriadores	• Inspeccione los ventiladores y sus aros de refuerzo por contacto y daño. • Haga reparaciones según se requiera.
Mangueras, cañerías y Fittings	• Revise todas las mangueras, empaquetaduras, sellos y fittings por filtraciones. • Repare según se requiera.
Aceite	• Revise la temperatura del aceite que ingresa y sale

	de los enfriadores. • Registre condiciones inusuales.
SECCIÓN: SISTEMA DE AJUSTE HIDRAULICO	
ITEM	TAREAS
Bombas de Aceite	• Revise la bomba de aceite operativa por condiciones inusuales como sonidos, olores, temperatura excesiva y vibración. • Haga más inspecciones exhaustivas y repare según se requiera.
Depósito	• Revise el nivel de aceite en el depósito con el calibrador de vista. • Durante la operación normal el nivel debe estar en la marca en el calibrador.
Válvula de Relevo de Presión	• Revise que las válvulas de relevo de presión no estén traqueteando y no estén demasiado calientes. • Revise la presión en los cables aguas debajo de las válvulas para una operación pareja.
Mangueras, cañerías y Fittings	• Revise todas las mangueras, cañerías, empaquetadura, sellos y fittings por filtraciones. • Repare según se requiera.
SECCIÓN: SISTEMA DE LUBRICACION DE LA ARAÑA	
ITEM	TAREAS
Presión del Aire	• Asegúrese que la entrada de presión de aire a la bomba esté en la presión de aire de la planta o cerca, en el calibrador de presión cerca del regular.
Regulador	• Revise el regulador de aire por daños o filtraciones. Repare según se requiera.
Filtro de Aire	• Revise la condición del filtro a través del plato filtrador. • Sí el filtro no está visible a través del plato límpielo cuando no esté operando el chancador.

	• Drene el filtro con su válvula, si no está equipado con una válvula de drenaje automática.
Lubricador	• Revise la velocidad de dispensar aceite del lubricador del cable de aire, debe estar a dos gotas por minuto. • Ajuste según se requiera con la válvula de ajuste del lubricador, si las gotas de aceite no están visibles limpie el filtro cuando el chancador no esté operativo.
Mangueras, Cañerías y Fittings	• Revise todas las mangueras, cañerías, empaquetaduras, sellos y fittings por filtraciones. • Repare según se requiera.
Bomba de Grasa	• Revise la bomba por condiciones inusuales como sonidos, olores, temperaturas excesivas y vibración. • Inspecciones más exhaustivamente y repare según se requiera.
Tambor de Grasa	• Revise el nivel de grasa en el tambor visualmente o con una escala de lectura de peso. • Reemplace los tambores según se requiera.

Anexo 5: Programa de mantenimiento preventivo semanal

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO	SEMANAL
Complete las tareas diarias de mantención preventiva en la hoja de Revisión de Mantención Preventiva. Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.	
SECCIÓN: CONJUNTO DEL CHANCADOR	
ITEM	TAREAS
Manto	• Revise los mantos por desgaste excesivo y grietas. • Repare o reemplace según necesidad.
Tuerca de Cabeza	• Revise 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.
Superficies Cónavas	• Revise los cóncavos por excesivo desgaste y grietas. • Repare o reemplace según se requiera.
Cónavos de Acero Manganeso y Uniones de Mantos	• Revise las uniones de los cóncavos para asegurarse que no se han obstaculizado.
Sello del Polvo	• Revise el sello del polvo por desgaste excesivo. • Reemplace según se requiera, o registre las observaciones cuando el desgaste sea mínimo o normal.
Retenedor del Sello del Polvo	• Revise el retenedor del sello del polvo, que esté apretado para evitar que se rompa el perno. • Apriete o reemplace según necesidad.

Anexo 6: Programa de mantenimiento preventivo mensual

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO	MENSUAL
Complete las tareas diarias y semanales del mantenimiento preventivo especificadas en hojas de revisión: DIARIA –MECANICA SEMANAL – MECANICA Corrija toda condición anormal observada y medida.	
SECCIÓN: CONJUNTO DEL CHANCADOR	
ITEM	TAREAS
Revestimientos de Carcaza Inferior	• Inspeccione los revestimientos de la carcasa inferior buscando grietas, piezas faltantes, formas de desgaste inusuales y desgaste excesivo. • Reemplace los revestimientos según se requiera.
Cojinete de la Araña	• Revise la distancia entre el cojinete de la araña y el eje principal. • Reemplace el cojinete si la distancia es excesiva o registre mediciones si la distancia está dentro de los límites normales.
SECCIÓN: SISTEMA LUBRICACIÓN	
ITEM	TAREAS
Aceite	• Tome una muestra de aceite del depósito en un contenedor autorizado. • Escriba la fuente y la fecha de la muestra en la etiqueta del contenedor y envíela para su análisis.
Muestra de Filtro	• Reemplace los elementos del filtro y envíe los filtros usados para análisis.
Bombas	• Inspeccione las bombas y cañerías por señales de filtración.

	• Repare según se requiera. • Limpie la envoltura de la bomba. • Asegúrese que todas las guardas estén seguras en su lugar.
Pernos de Montaje	• Revise todos los pernos del equipo que estén apretados y sin que falten unidades. • Reemplace y apriete según se requiera.
SECCIÓN: ENFRIADORES	
ITEM	TAREAS
Enfriadores	• Compruebe los radiadores de los daños y pérdidas. • Limpie el exterior de las superficies de enfriamiento según sea necesario.
Pernos de Montaje	• Revise todos los pernos del equipo que estén apretados y sin que falten unidades. • Reemplace y apriete según se requiera.
Ventiladores	• Limpie e inspeccione los ventiladores buscando grietas y erosión. • Reemplace según se requiera.
SECCIÓN: SISTEMA DE AJUSTE HIDRÁULICO	
ITEM	TAREAS
Aceite	• Tome una muestra de aceite del depósito en un contenedor autorizado. • Escriba la fuente y la fecha de la muestra en la etiqueta del contenedor y envíela para su análisis.
Muestra de Filtro	• Reemplace los elementos del filtro y envíe los filtros usados para análisis.
Bombas	• Inspeccione las bombas y cañerías por señales de filtración. • Repare según se requiera. • Limpie la envoltura de la bomba.

	• Asegúrese que todas las guardas estén seguras en su lugar.
Pernos de Montaje	• Revise todos los pernos del equipo que estén apretados y sin que falten unidades. • Reemplace y apriete según se requiera.

Anexo 7: Programa de mantenimiento preventivo anual

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO	ANUAL
Complete las tareas diarias, semanales y mensuales del mantenimiento preventivo especificadas en hojas de revisión: DIARIA –MECANICA SEMANAL – MECANICA MENDUSL – MECANICA Corrija toda condición anormal observada y medida.	
SECCIÓN: SISTEMA LUBRICACIÓN	
ITEM	TAREAS
Filtros y Envolturas	• Revise los elementos del filtro y envolturas buscando polvo. • Revise las envolturas del filtro y fittings buscando señales de filtración y daño. • Reemplace los componentes dañados según se requiera.
Coladores	• Remueva e inspeccione los coladores del depósito. • Registre observaciones del material en el colador. • Limpie los coladores. • Inspecciones buscando daños y orificios en el material del colador y sus sellos. • Reemplace los coladores según se requiera.
Depósito	• Drene y limpie el depósito. • Saque todo resto de basura y sedimento de ambos compartimentos del depósito y sus divisiones.
Empaquetaduras y Sellos	• Inspeccione con cuidado todas las empaquetaduras y sellos. • Reemplace componentes viejos o con filtración,

	según se requiera.
Servicio	• Llene con aceite nuevo del grado y tipo correcto hasta la marca en el medidor visual. • Cierre y asegure las aberturas. • Limpie el exterior del depósito.
SECCIÓN: ENFRIADORES	
ITEM	TAREAS
Exterior	• Revise los enfriadores buscando signos de filtración y daño físico. • Limpie el exterior de los enfriadores con detergente potente y agua. • Inspeccione nuevamente los enfriadores. • Repare o reemplace según se requiera.
Interior	• Revise los enfriadores buscando signos de filtración y daño físico. • Limpie el exterior de los enfriadores con detergente potente y agua. • Inspeccione nuevamente los enfriadores. • Repare o reemplace según se requiera.
Cañería, Manguera y Fittings	• Inspeccione las cañerías, mangueras y sus fittings buscando filtraciones y daños. • Reemplace los componentes según se requiera.
Ventilador	• Limpie e inspeccione el ventilador buscando grietas. • Reemplace el ventilador según se requiera.
SECCIÓN: SISTEMA DE AJUSTE HIDRÁULICO	
ITEM	TAREAS
Filtros y Envolturas	• Revise los elementos del filtro y camisas buscando polvo y basura. • Revise las camisas del filtro y fittings buscando señales de filtración y daño. • Reemplace los componentes dañados según se

	requiera.
Coladores	• Remueva e inspeccione los coladores del depósito. • Registre observaciones del material en el colador. • Limpie los coladores. • Inspecciones buscando daños y orificios en el material del colador y sus sellos. • Reemplace los coladores según se requiera.
Depósito	• Drene y limpie el depósito. • Saque todo resto de basura y sedimento de ambos compartimentos del depósito y sus divisiones.
Empaquetaduras y Sellos	• Inspeccione con cuidado todas las empaquetaduras y sellos. • Reemplace componentes viejos o con filtración, según se requiera.
Servicio	• Llene con aceite nuevo del grado y tipo correcto hasta la marca en el medidor visual. • Cierre y asegure las aberturas. • Limpie el exterior del depósito.

Anexo 8: Programa de mantenimiento preventivo mayor

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO	MAYOR
SECCIÓN: CONJUNTO DEL CHANCADOR	
ITEM	TAREAS
Desmontaje Parcial	Desmonte el chancador al punto necesario para inspeccionar y medir los componentes para estas tareas de mantenimiento preventivo mayor.
Cojinete Excéntrico Exterior	- Inspeccione el cojinete excéntrico exterior buscando desgaste y estriamiento excesivos. - Reemplace el cojinete según se requiera.
Anillo de Desgaste Excéntrico	- Inspeccione el anillo de desgaste excéntrico en busca de desgaste y estriamiento excesivo. - Reemplace el anillo de desgaste según se requiera.
Cojinete Excéntrico Interior	- Inspeccione el cojinete excéntrico interior por desgaste y estriamiento excesivo. - Reemplace el cojinete según se requiera.
Excéntrico	- Inspeccione las superficies internas y externas del excéntrico, por desgaste y estriamiento excesivo. - Reemplace el excéntrico según se requiera.
Eje Principal	- Inspeccione los muñones del rodamiento del eje principal por estriamiento. - Repare o reemplace el eje, según se requiera.
Engranaje Cónico y Piñón	- Revise la condición del engranaje cónico y su piñón. - Revise la condición de los rodamientos del piñón. - Reemplace los componentes excesivamente gastados, según se requiera.

Pistón y Cojinete del Ajuste Hidráulico	• Inspeccione el pistón y sus cojinetes por desgaste y estriamiento excesivo. • Reemplace los componentes excesivamente gastados y dañados, según se requiera.
Sello del Pistón del Ajuste Hidráulico	• Limpie y seque el sello e inspecciónelo buscando desgaste y daño excesivo. • Reemplace el sello según se requiera.