

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CHANCADO TERCIARIO EN UNA
PLANTA CONCENTRADORA”**

AREQUIPA 2016 - 2018

Tesis presentada por el Bachiller:

Fernández Morales, Maykol Lizardo

Para optar el Grado Académico de:

Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Dr. Ticse Villanueva, Edwing

Arequipa – Perú

2018

Informe 027-2018

De: Ing. Edwing Ticse Villanueva
A: Dr. Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Post Grado de la UCSM
Asunto: Borrador de tesis del Bachiller Maykol Lizardo Fernández Morales
Fecha: 20-09-2018

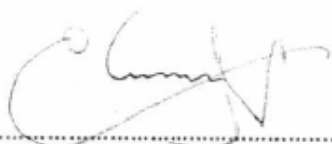
Mediante la presente manifiesto que se ha revisado el Borrador de Tesis de la Sr. **Maykol Lizardo Fernández Morales** titulado:

Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el área de chancado terciario en una planta concentradora

Luego de revisado se dá por aprobado dicho Borrador de Tesis

Agradeciendo la atención prestada a la presente, le expreso a usted mis sentimientos de estima personal.

Atentamente



Ing. Edwing Ticse V.
Código 1341



DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 24 de Agosto de 2018

Señor Doctor
Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Postgrado de la Universidad Católica de Santa María
Ciudad.-

De mi consideración:

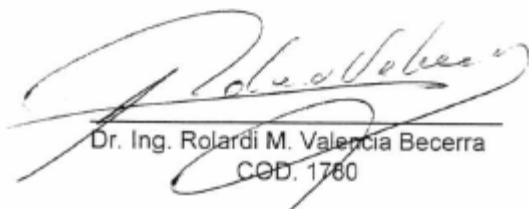
Dictamen sobre el Borrador de Tesis de Maestría titulado "IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CHANCADO TERCIARIO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA" presentado por el Bachiller FERNÁNDEZ MORALES, MAYKOL LIZARDO, con el que pretende optar el grado académico de MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.

Al respecto el dictamen es:

APROBADO SIN OBSERVACIONES:

Siendo todo lo que tengo que informar.

Atentamente,



Dr. Ing. Rolardi M. Valencia Becerra
COD. 1760



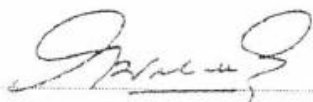
**DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS PARA
OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN
INGENIERIA DEL MANTENIMIENTO**

Título : “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDADN (RCM) PARA EL
AREA DE CHANCADO TERCIARIO EN UNA PLANTA
CONCENTRADORA”
Graduando : Fernández Morales, Maykol Lizardo
Fecha : Arequipa, 2018 agosto 24

Visto el Borrador de Tesis presentado y no teniendo observaciones, nuestro dictamen es
PROCEDENTE.

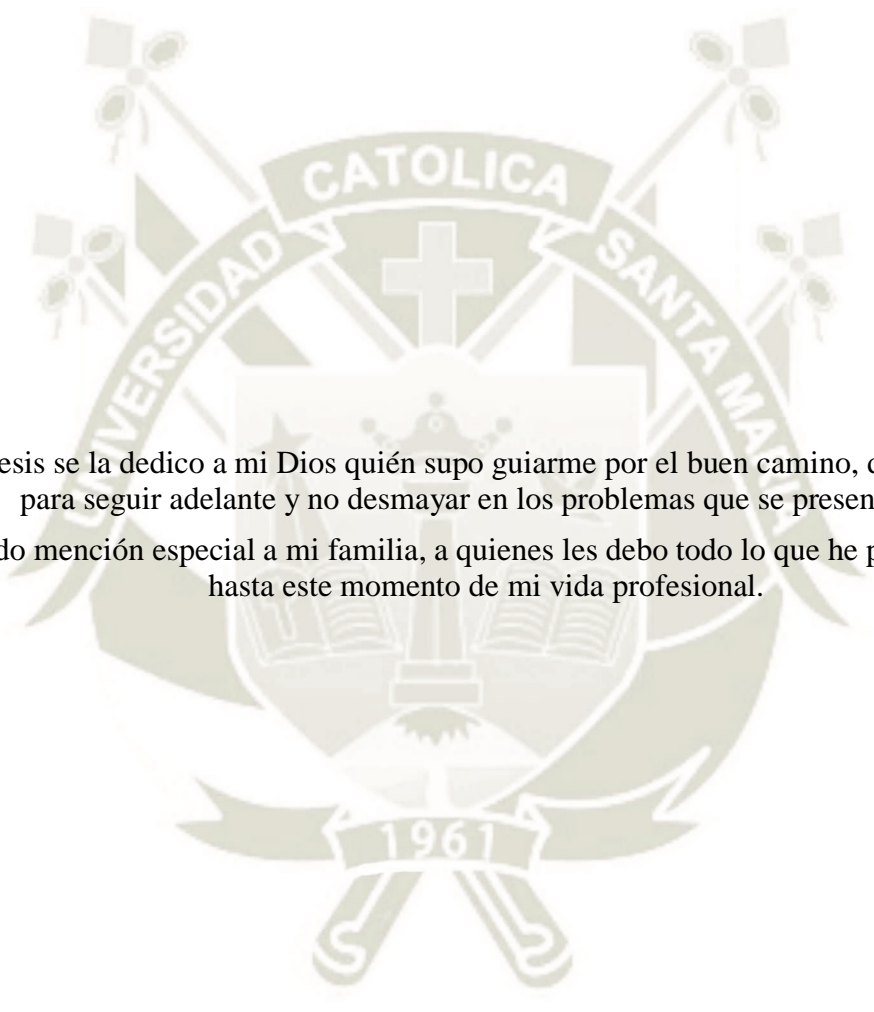
Atentamente,

EPG Universidad Católica de Santa María



Dr. Héctor Raul Vebardo Pedregal
Docente Principal de la UCSM
Dictaminador





Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban.
Haciendo mención especial a mi familia, a quienes les debo todo lo que he podido alcanzar hasta este momento de mi vida profesional.

INTRODUCCION

Las empresas se encuentran hoy, abarrotadas de una gran cantidad de métodos de mantenimiento; los cuales se hacen indiscriminadamente con el deseo de no quedarse atrás, utilizándolo como un fin por un tema de moda y no como el medio para alcanzar la excelencia. Estos métodos poseen una metodología específica de implementación, que requiere de un análisis y conocimiento profundo del proceso productivo para lograr desarrollarlas con éxito.

Es por ello que se debe enfocar adecuadamente la visión y la misión mediante la definición clara de políticas, objetivos y valores de la empresa; entre otros.

Además, cabe destacar que aún existen empresas que se apoyan en viejos paradigmas de mantenimiento, y otras que ni siquiera poseen una dirección sólida de gestión de mantenimiento.

En los escenarios de hoy, las empresas se juegan su capacidad competitiva por la cantidad y calidad de los recursos que se comprometen en el área de mantenimiento, dado que en la actualidad el precio de los productos los fija el mercado, lo que obliga a las empresas a reducir y optimizar sus procesos productivos; siendo una de las principales causas los altos costos de mantenimiento. Todo ello, con la finalidad de generar beneficios a su mas inmediato grupo de interés, como es el área de producción.

La principal ventaja que ofrece el mantenimiento, reside en que los sistemas productivos continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta forma contribuir a conservar las actividades productivas, de las cuales la empresa obtiene utilidades económicas. Asimismo disminuir los costos de mantenimiento, por sobre-mantenimiento, indisponibilidad de los sistemas productivos; entre otros, con lo cual se podría aumentar el margen potencial de ganancias al sostener la influencia del costo de mantenimiento.

RESUMEN

El presente trabajo de Investigación, tiene como objetivo elaborar e implementar un plan de mantenimiento que permita mejorar la confiabilidad de los HPGR del área de Chancado Terciario.

Es por ello que la metodología propuesta es la utilización del (RCM) o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, con el objetivo de encontrar las posibles causas de las paradas no programadas.

Para ello fue necesario jerarquizar los equipos conforme a su criticidad, con el objetivo de poder tener identificado el equipo que podría afectar la disponibilidad de la planta.

Con el estudio propuesto se pretende encontrar tareas de mantenimiento, que permitan aumentar la vida útil del equipo y reducir los costos por pérdidas de producción, con una adecuada y pertinente toma de decisiones, soportado en un análisis de factibilidad técnico-económico.

Finalmente los logros alcanzados con la aplicación de RCM o Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, son cuantificados y plasmados en los planes de mantenimiento que se aplicaran en la chancadora de Rodillos.

Palabra Clave: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

ABSTRACT

The present research work has how aims to develop implement a maintenance plan to improve the reliability of the HPGR in the Tertiary Crushing area.

The proposed methodology is (RCM) or Reliability Centered Maintenance, with the objective to find the possible causes of unscheduled downtimes.

For this, it was necessary to rank the equipment according to its criticality, with the objective of having identified the equipment that could affect the availability of the plant.

The proposed study seeks to find maintenance tasks, which allow me to increase the useful life of the equipment and reduce costs to production losses, with adequate and pertinent decision-making based on a feasibility analysis technical-economic.

Finally, the achievements made with the application of the RCM or Reliability Centered Maintenance are quantified and reflected in the maintenance plans that will be applied to the HPGR (Roller Crusher).

Keyword: Maintenance Centered in the Reliability.

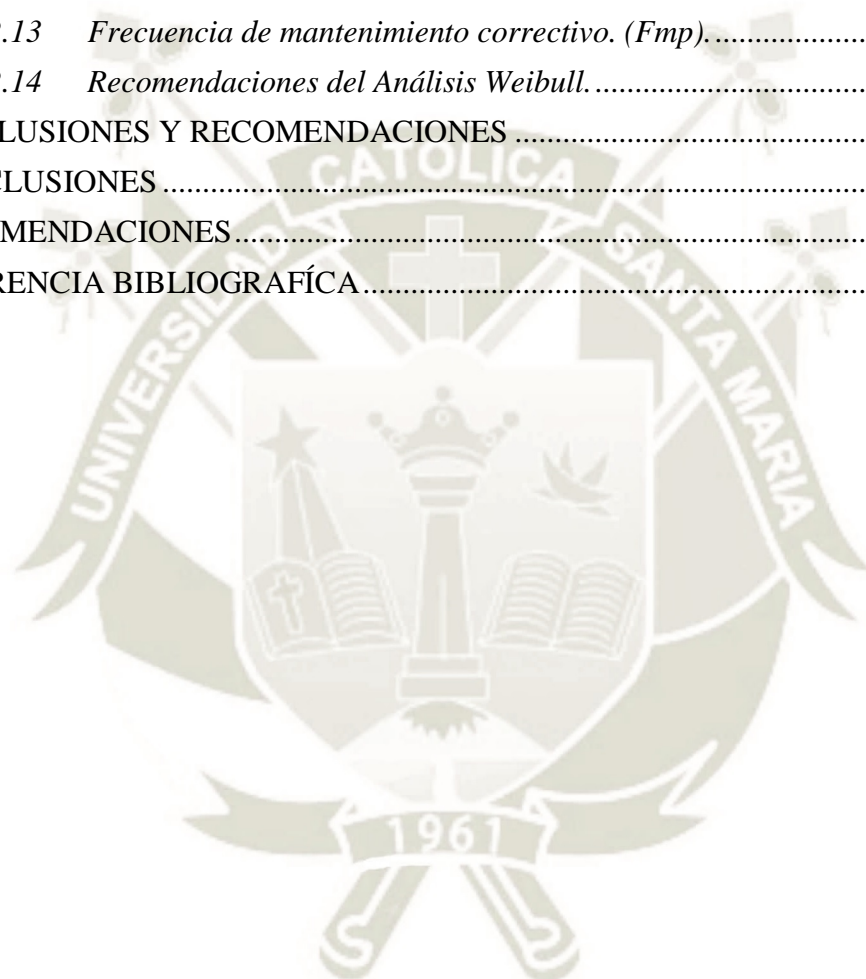
INDICE GENERAL

INTRODUCCION	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xi
CAPITULO I	1
PLAN OPERACIONAL.....	1
1.1. <i>Enunciado del Problema</i>	1
1.2. <i>Identificación (Problema, Oportunidad)</i>	1
1.3. <i>Descripción del Problema</i>	1
1.4. <i>Objetivos del Proyecto</i>	2
1.4.1. <i>Objetivos Generales</i>	2
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.5. <i>Hipótesis</i>	2
1.6. <i>Tipo de Investigación</i>	3
1.7. <i>Justificación</i>	3
1.7.1. <i>Aspecto General</i>	3
1.7.2. <i>Aspecto Tecnológico</i>	3
1.7.3. <i>Aspecto Social</i>	4
1.7.4. <i>Aspecto Económico</i>	4
1.8. <i>Variable</i>	4
1.8.1.1. <i>Variable Independiente</i>	4
1.8.1.2. <i>Variable Dependiente</i>	4
1.9. <i>Cuadro de Variables</i>	5
1.10. <i>Método</i>	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 <i>Evolución y Nuevas Expectativas del Mantenimiento</i>	7
2.2 <i>Gestión de Activos en el Mantenimiento</i>	8
2.3 <i>Mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM)</i>	9
2.4 <i>Modelamiento de Confiabilidad y Disponibilidad (RAM)</i>	10
2.5 <i>Análisis Weibull</i>	11
2.6 <i>High Pressure Grinding Roll (HPGR)</i>	12
2.6.1 <i>Hooper de Alimentación</i>	13

2.6.2	<i>Unidad de Engrase</i>	14
2.6.3	<i>Sistema Hidráulico</i>	16
2.6.4	<i>Rodillo Fijo y Móvil</i>	17
2.6.5	<i>Caja de Transmisión</i>	19
2.6.6	<i>Principio de Funcionamiento</i>	19
CAPITULO III.....		21
EQUIPOS NATURALES DE TRABAJO.....		21
3.1	<i>Capacitación del Facilitador</i>	21
3.2	<i>Formación Inicial del Equipo Natural de Trabajo (ENT)</i>	21
3.3	<i>Programación de reuniones (AGENDA)</i>	22
CAPITULO IV.....		25
PROCESO PRODUCTIVO.....		25
CAPÍTULO V.....		30
CONTEXTO OPERACIONAL.....		30
5.1	<i>Datos Generales de la Empresa</i>	30
5.2	<i>División del Proceso en el Nivel de Detalle</i>	30
5.3	<i>Listado de componentes de cada Sistema o Subsistema según el Análisis de Criticidad</i>	31
CAPÍTULO VI.....		34
ANÁLISIS DE CRITICIDAD BASADA EN EL RIESGO.....		34
6.1	<i>Criterios para el Impacto en Seguridad</i>	34
6.2	<i>Criterios para el Impacto en Medio Ambiente</i>	34
6.3	<i>Criterios para el Impacto en Producción</i>	34
6.4	<i>Conceptos o Criterios para el Nivel de Producción Manejado</i>	35
6.5	<i>Criterios para el Tiempo Promedio de reparación</i>	35
6.6	<i>Criterios para la Frecuencia de Falla</i>	35
6.7	<i>Criterios para el Impacto en el Mantenimiento</i>	36
6.8	<i>Rangos de Puntajes para la Matriz del Nivel de Criticidad</i>	36
6.9	<i>Nivel de Criticidad</i>	37
CAPITULO VII.....		42
DESCRIPCIÓN DE CADA NIVEL DE DETALLE.....		42
7.1	<i>Datos generales del HPGR</i>	42
7.2	<i>Datos de los rodillos</i>	42
7.3	<i>Objetivos y Políticas</i>	43
7.4	<i>Personal de Operación</i>	43
7.5	<i>Personal de Mantenimiento</i>	44
7.6	<i>Personal de Mantenimiento</i>	44

7.7	<i>Condiciones de Operación</i>	44
CAPITULO VIII.....		45
ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE LA FALLA.....		45
8.1	<i>Funciones, fallas funcionales, modos y efecto de fallas – Unidad de Rodillos Móvil y Fijo</i>	45
8.1.1	<i>Cuadro Resumen del Análisis de Modos y Efectos de Fallas</i>	89
8.1.2	<i>Criticidad de los Modos de Fallas (NPR) de los Sistemas, Subsistemas o Componentes</i>	93
8.2	<i>Conclusiones del Análisis del AMEF</i>	97
CAPITULO IX		98
9.1	<i>Viabilidad Técnica y Económica de cada Estrategia por Modo de Falla</i>	98
9.2	<i>Análisis Económico</i>	110
CAPITULO X.....		113
ANÁLISIS WEIBULL		113
10.1	<i>Picaduras en elementos rodantes y pistas de rodamientos</i>	113
10.1.1	<i>Cálculo de los parámetros de WEIBULL: Método de los mínimos cuadrados.</i> 113	
10.1.2	<i>Método de regresión lineal.</i>	114
10.1.3	<i>Aplicando el coeficiente de correlación.</i>	115
10.1.4	<i>Parámetros estimados.</i>	116
10.1.5	<i>Cálculo de la vida media.</i>	116
10.1.6	<i>Cálculo de la vida mediana.</i>	116
10.1.7	<i>Cálculo de la vida B10.</i>	116
10.1.8	<i>Cálculo de los valores de las 4 funciones de confiabilidad (Mediante fórmulas de WEIBULL).</i>	117
10.1.9	<i>Confiabilidad para la vida media.</i>	119
10.1.10	<i>Análisis de modos y efectos de falla.</i>	119
10.1.11	<i>Factibilidad técnica.</i>	119
10.1.12	<i>Factibilidad Económica.</i>	120
10.1.13	<i>Frecuencia de mantenimiento correctivo. (Fmp).</i>	122
10.1.14	<i>Frecuencia de mantenimiento correctivo. (Fmp).</i>	122
10.2	<i>Desgaste en los Rodillos</i>	123
10.2.1	<i>Cálculo de los parámetros de WEIBULL: Método de los mínimos cuadrados.</i> 123	
10.2.2	<i>Método de regresión lineal.</i>	124
10.2.3	<i>Aplicando el coeficiente de correlación.</i>	125
10.2.4	<i>Parámetros estimados.</i>	126
10.2.5	<i>Cálculo de la vida media.</i>	126

10.2.6	<i>Cálculo de la vida mediana.</i>	126
10.2.7	<i>Cálculo de la vida B10.</i>	127
10.2.8	<i>Cálculo de los valores de las 4 funciones de confiabilidad (Mediante fórmulas de WEIBULL).</i>	127
10.2.9	<i>Confiabilidad para la vida media.</i>	129
10.2.10	<i>Análisis de modos y efectos de falla.</i>	129
10.2.11	<i>Factibilidad Técnica.</i>	129
10.2.12	<i>Factibilidad Económica.</i>	130
10.2.13	<i>Frecuencia de mantenimiento correctivo. (Fmp).</i>	132
10.2.14	<i>Recomendaciones del Análisis Weibull.</i>	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		133
CONCLUSIONES		133
RECOMENDACIONES		134
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		135



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cambio en las técnicas de Mantenimiento	8
Figura 2 Curva de la función de la tasa de fallas	11
Figura 3 High Pressure Grinding Roll	13
Figura 4 Unidad de Engrase.....	14
Figura 5 Circuito de la unidad de control con bomba de pulsos.....	15
Figura 6 Sistema Central de Lubricación.....	15
Figura 7 Partes del Sistema hidráulico.....	16
Figura 8 Desplazamiento del rodillo Móvil	17
Figura 9 Rodillo Fijo y Móvil.....	18
Figura 10 Disposición de los studs en el rodillo	18
Figura 11 Circuito de lubricación de la caja de transmisión.....	19
Figura 12 Funcionamiento del Chancador HPGR	20
Figura 13 Procesos de la Planta Concentradora.....	25
Figura 14 Sistemas y subsistemas del Chancado Primario	26
Figura 15 Sistemas y subsistemas del Chancado Secundario	27
Figura 16 Sistemas y subsistemas del Chancado Terciario	28
Figura 17 Diagrama general del circuito de Chancado Terciario	29
Figura 18 Entrada / Salida del Proceso de Chancado Terciario.....	32
Figura 19 Entrada / Salida del Proceso del HPGR.	33
Figura 20 Entrada / Salida del Proceso de los Rodillos.....	33
Figura 21 Gráfico de barras - Subsistemas vs. Nivel de Criticidad (Chancado terciario).41	
Figura 22 Montaje de Studs	71
Figura 23 Distancia entre rodillos.....	74
Figura 24 Acumulación de mineral húmedo.....	78
Figura 25 Diagrama de Barras consecuencia No Operacional.	92
Figura 26 Diagrama de Barras NPR – Modo efecto de falla.	96
Figura 27 Picaduras en elementos rodantes	99
Figura 29 Picaduras en elementos rodantes	99
Figura 29 Pistas Internas	100
Figura 30 Bomba de lubricación.....	101
Figura 31 Desgaste de Rodillos	102
Figura 33 Chaquetas Inflables	104
Figura 32 Alimentación no uniforme de mineral.....	104
Figura 34 Sistema Hidráulico	105

Figura 35 Trituración de Mineral.....	106
Figura 36 Filtros del sistema hidráulicos	107
Figura 37 Diagrama de Barras cuantificación del riesgo según modo de falla.	109
Figura 38 Curvas de cuatro funciones de Confiabilidad.....	118
Figura 39 Curva de Frecuencia vs Costos.....	121
Figura 40 Curva de las cuatro funciones de confiabilidad.....	128
Figura 41 Curva de frecuencia vs costos	131



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de Variables.....	5
Tabla 2 Datos del facilitador.....	21
Tabla 3 Datos del equipo natural de trabajo.	21
Tabla 4 Programación de reuniones y agenda.	24
Tabla 5 Chancado Terciario, sistemas y sub sistemas	30
Tabla 6 Chancado Terciario, cantidad de componentes por sub sistemas.....	31
Tabla 7 Descripción de nivel de detalle del Chancado Terciario	32
Tabla 8 Criterios para el análisis de impacto en Seguridad.....	34
Tabla 9 Criterios para el análisis de impacto al Medio Ambiente	34
Tabla 10 Criterios para el análisis de impacto a la Producción	34
Tabla 11 Criterios para el análisis de Nivel de la Producción Manejado.	35
Tabla 12 Criterios para el Tiempo Promedio de Reparación.....	35
Tabla 13 Criterios para la Frecuencia de Falla	35
Tabla 14 Criterios para el impacto en el Mantenimiento.....	36
Tabla 15 Designación de criticidad.....	36
Tabla 16 Puntajes en la matriz de Criticidad.	36
Tabla 17 Evaluación del nivel de criticidad para el HPGR (sistemas y sub sistemas).	38
Tabla 18 Evaluación del nivel de criticidad para la zaranda (sistemas y sub sistemas).	39
Tabla 19 Evaluación del nivel de criticidad del Feeder (sistemas y sub sistemas).....	39
Tabla 20 Evaluación del nivel de criticidad de los chutes (sistemas y sub sistemas).....	40
Tabla 21 Evaluación del nivel de criticidad de las Tolvas (sistemas y sub sistemas).	40
Tabla 22 Datos generales del HPGR.	42
Tabla 23 Datos generales de los rodillos.	42
Tabla 24 Política y Objetivos de la Empresa.	43
Tabla 25 Características del Personal de operaciones	43
Tabla 26 Características del Personal Mecánico	44
Tabla 27 Características del Personal Eléctrico Instrumentación.....	44
Tabla 28 Condiciones de operación.....	44
Tabla 29 Desgaste de Rodillos.....	45
Tabla 30 Presión insuficiente del sistema hidráulico por contaminación.....	46
Tabla 31 Activación de detector de Metales / Detención del Alimentador.	47
Tabla 32 Activación de detector de Metales / Detención del Alimentador.	48
Tabla 33 Mal Funcionamiento de válvulas reguladoras de Presión	49

Tabla 34 Problemas en la lógica de Control	50
Tabla 35 Mala calibración de Topes	51
Tabla 36 Alimentación desigual de material.	52
Tabla 37 Falla de válvula Reguladora de Presión.....	53
Tabla 38 Problemas en la lógica de control	54
Tabla 39 Filtros Saturados	55
Tabla 40 Acumuladores con insuficiente carga de nitrógeno	56
Tabla 41 Fuga de aceite en el sistema hidráulico	57
Tabla 42 Bomba Hidráulica con caudal insuficiente	58
Tabla 43 Fuga de Aceite hidráulico	59
Tabla 44 Válvulas limitadoras de presión activadas.....	60
Tabla 45 Falla de Sensor temperatura.....	61
Tabla 46 Lubricación Excesiva.....	62
Tabla 47 Lubricación Insuficiente	63
Tabla 48 Contaminación del lubricante	64
Tabla 49 Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas	65
Tabla 50 Falla en el sistema de refrigeración	66
Tabla 51 Mala selección del material de los rodillos.....	67
Tabla 52 Studs mal colocados.....	68
Tabla 53 Mineral de alimentación de mucha dureza.	69
Tabla 54 Paso de material inchancable	70
Tabla 55 Falla de lógica de control / Falla de sensores de medición de GAP.....	72
Tabla 56 Desgaste de los rodillos no uniforme.....	73
Tabla 57 Tamaño de mineral de alimentación demasiado grande	74
Tabla 58 Falla del sensor de velocidad / Problemas con el sistema de control de velocidad DSC.....	75
Tabla 59 Problemas con el variador de velocidad del motor.....	76
Tabla 60 Dureza muy alta del mineral de alimentación / Acumulación de mineral húmedo ..	77
Tabla 61 Problemas con el variador.....	79
Tabla 62 Rotura en el sistema de transmisión	80
Tabla 63 Mineral de Alimentación de mucha dureza	81
Tabla 64 Presencia de material inchancable	82
Tabla 65 Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas	83
Tabla 66 Desalineamiento del sistema de transmisión.	84
Tabla 67 Acumulador de presión dañado	85

Tabla 68 Alimentación no uniforme	86
Tabla 69 Válvulas hidráulicas dañadas.....	87
Tabla 70 Problemas con el sistema de control.....	88
Tabla 71 Cuadro Resumen del Análisis de Modos y Efectos de Fallas.....	91
Tabla 72 NPR Criticidad de los Modos y Efectos de Fallas.....	95
Tabla 73 Formulas de cuantificación del riesgo.	98
Tabla 74 Viabilidad técnica Económica / Corriente soldadura	99
Tabla 75 Viabilidad técnica Económica / Contaminación del lubricante.....	100
Tabla 76 Viabilidad técnica Económica / Problemas en la bomba.....	101
Tabla 77 Viabilidad técnica Económica / desgaste de los rodillos.....	102
Tabla 78 Viabilidad técnica Económica / contaminación del lubricante.....	103
Tabla 79 Viabilidad técnica Económica / Alimentación no uniforme del mineral.....	104
Tabla 80 Viabilidad técnica Económica / Prob. Con sist. Hidráulico	105
Tabla 81 Viabilidad técnica Económica / Dureza muy alta.....	106
Tabla 82 Viabilidad técnica Económica / Filtros saturados.....	107
Tabla 83 Cuadro resumen de la viabilidad técnica Económica	108
Tabla 84 Análisis de flujo de Caja Escenario 01	110
Tabla 85 Análisis de flujo de Caja Escenario 02	111
Tabla 86 Bitácora del rodamiento.....	113
Tabla 87 Mínimos Cuadrados.....	113
Tabla 88 Coeficiente de Correlación	115
Tabla 89 Cuatro Funciones de Confiabilidad	117
Tabla 90 Modos y Efectos de Falla.....	119
Tabla 91 Costos de Mtto. Correctivo.....	120
Tabla 92 Costos de Mtto. Preventivo.....	120
Tabla 93 Tabla de frecuencias vs costos.....	121
Tabla 94 Bitácora de los Rodillos	123
Tabla 95 Mínimos Cuadrados.....	123
Tabla 96 Tabla coeficiente de correlación.....	125
Tabla 97 Cuatro Funciones de la Confiabilidad	127
Tabla 98 Modos y Efectos de Falla.....	129
Tabla 99 Costos Mtto. Correctivo.....	130
Tabla 100 Costos de Mtto. Preventivo.....	130
Tabla 101 frecuencia vs costos	131

CAPITULO I PLAN OPERACIONAL

1.1. Enunciado del Problema

“Implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para el área de Chancado Terciario en una Planta Concentradora”.

1.2. Identificación (Problema, Oportunidad)

El presente estudio constituye una propuesta de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el cual nos permite garantizar la disponibilidad y confiabilidad del sistema, para evitar las paradas no programadas.

Necesitamos producir concentrado de alta calidad con bajos costos de mantenimiento, de acuerdo a la confiabilidad deseada por las políticas de la empresa, cumpliendo con las políticas de seguridad del personal y medio ambiente.

1.3. Descripción del Problema

Es política operativa de la empresa es planificar, ejecutar, controlar y medir eficientemente el área productiva. Pese a ello, se descuidan muchas veces los equipos críticos que participan directamente en la producción, sin considerar la importancia de los mismos para el logro de las metas de producción.

Las grandes empresas del rubro minero, no realizan una eficiente planificación, ejecución y control de las actividades que se realizan en dichas áreas, lo que trae como consecuencia incurrir la mayoría de veces en elevados costos por causa de Mantenimientos Correctivos.

El presente trabajo, tiene como objetivo minimizar estas deficiencias en la gestión del mantenimiento, siendo necesario además analizar los diversos enfoques actualmente existentes para mejorar la gestión de mantenimiento en dichas áreas.

Por esta razón, en la presente investigación se analizará y presentará una metodología para implementar RCM a los HPGR del Proceso de Chancado, a través de los cuales podremos asegurar una eficiente Gestión de Mantenimiento para este equipo.

1.4. Objetivos del Proyecto

1.4.1. Objetivos Generales

El presente trabajo de investigación pretende elaborar un plan de mantenimiento que permita mejorar la confiabilidad de los HPGR del área de chancado, mediante la aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los equipos más críticos que conforman la Chancadora Terciaria, de tal manera que se puedan centralizar los esfuerzos en los equipos más críticos.
2. Desarrollar taxonomía del activo más crítico.
3. Realizar el análisis AMEF de los equipos, con el objetivo de encontrar las posibles causas de las paradas no programadas.
4. Encontrar el MTBF ideal basándonos en el histórico de fallas y distribución de Weibull.
5. Encontrar las nuevas tareas de mantenimiento, que me permitan aumentar la vida útil de los equipos.
6. Establecer el ahorro que se lograría con la aplicación de la metodología de mantenimiento RCM.

1.5. Hipótesis

Con la nueva propuesta de los Planes de Mantenimiento a la Chancadoras Terciaria de la Planta Concentradora, se pretende incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

1.6. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es explicativa, pretenden conducir a un sentido de comprensión o entendimiento de un fenómeno. Apuntan a las causas de los eventos físicos. Pretenden responder a preguntas como: ¿por qué ocurre? ¿En qué condiciones ocurre?

Además cabe decir que es de tipo experimental, el investigador no solo identifica las características que se estudian sino que las controla, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

1.7. Justificación

Utilizando las herramientas de mantenimiento como el RCM, se considera que es posible mejorar la planificación, ejecución y control del mantenimiento.

Luego, se propone hacerlo extensivo a los demás trabajadores del área, lo que significaría mejorar sustancialmente la competitividad.

Por las razones antes expuestas, el presente estudio se justifica, puesto que permitirá contar con un método para mejorar la confiabilidad de los HPGR y a su vez permitirá cumplir con los objetivos planteados.

1.7.1. Aspecto General

Se tienen problemas en el área de mantenimiento debido a que no se cuenta con un plan adecuado de Mantenimiento motivo por el cual estos equipos paran intempestivamente ocasionando así un retraso en la producción y un sobre costo por tener que realizar los trabajos en un horario no habitual, incrementando la mano de obra y gastos generales por tener personal extra para que supervise los trabajos

1.7.2. Aspecto Tecnológico

Para poder implementar el RCM en el área de chancado vamos a necesitar cargar de buena información al SAP para poder tener registro y control de los equipos, herramientas, horas hombre, costo de cada mantenimiento que se realice.

El SAP como todo software de gestión necesita de buena información para poder gestionar sus recursos

1.7.3. Aspecto Social

El proyecto nos ayuda a mejorar la comunicación entre las diferentes áreas de la empresa. Podemos descubrir las fortalezas de cada equipo de trabajo y realizar sinergia entre los trabajadores.

1.7.4. Aspecto Económico

Se quiere lograr mayor rentabilidad, minimizando los costos que causan las paradas intempestivas.

1.8. Variable

1.8.1.1. Variable Independiente

- Elaboración del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

1.8.1.2. Variable Dependiente

- Confiabilidad.
- Disponibilidad.

1.9. Cuadro de Variables

Se procede establecer nuestro cuadro de variables tomando como referencia lo expuesto con anterioridad.

Variable	Tipo de Variable	Und.	KPI	Herramientas	Descripción Conceptual	Descripción Operativa
Mantto Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Independiente	T / US\$	Tiempo y Costo	Manuales de los equipos, bitácoras, planes de mantenimiento.	Es la acción y el efecto en recursos para poner en marcha el proyecto.	Se refiere al recurso humano que se necesitara para poner en marcha el proyecto de implementación de RCM.
Disponibilidad	Dependiente	\$	MTBF MTTR	RCM	Es un indicador que mide la probabilidad que un equipo cumpla la función de diseño en un tiempo determinado.	Promedio de horas que un equipo trabaja sin entrar en mantenimiento
Confiabilidad	Dependiente	\$	MTBF	RCM	Es un indicador que mide la probabilidad que un equipo no falle.	En una serie de procesos, se incorpora de forma sistemática, herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control, de la producción industrial.

Tabla 1 Cuadro de Variables
(Fuente: Elaboración propia)

1.10. Método

- Analizar e interpretar los planes de mantenimiento existentes actualmente.
- Realizar un análisis de criticidad, desarrollando taxonomía real del activo.
- Obtener el listado de repuestos críticos, al tener identificado todos los sistemas, subsistemas y componentes que involucran al activo.
- Identificar los modos de falla que pueden evidenciarse en el activo, desarrollando el efecto de los modos de falla en cada caso.
- Identificar los riesgos que afecten la operatividad, seguridad y perseverancia del medio ambiente que rodean al activo.
- Analizar los nuevos planes de mantenimiento que se obtengan con la implementación de la metodología del RCM, evaluando factibilidad de recursos y costos.
- Implementar el RCM en los PM's. de la Chancadora Terciaria de Rodillos.
- Comparar los resultados obtenidos con la nueva estrategia de mantenimiento, con los anteriores valores.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 *Evolución y Nuevas Expectativas del Mantenimiento*

El Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos y nuevos métodos de mantenimiento, y además de una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

Las expectativas del mantenimiento son muy cambiantes. Esto incluye una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto la falla en los equipos afecta a la seguridad y el medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta a bajo costo.

El Personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar nuevas maneras de pensar y actuar muchas veces como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importan cuanto se haya computarizado. (Moubray, 2004)

La primera generación la industria que no era totalmente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de las máquinas no tenía mayor importancia.

La segunda generación la presión en los tiempos creció, aumentando la cantidad y complejidad de las máquinas. Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de las máquinas. Esto llevo a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían prevenirse, dando lugar al concepto de Mantenimiento Preventivo.

La tercera generación los tiempos de parada de las máquinas afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, y afectar el servicio al cliente. El crecimiento de la mecanización y la automatización han tomado a la confiabilidad y la disponibilidad en factores claves. También se presentan nuevas investigaciones que están cambiando muchas de nuestras creencias más profundas

referidas a la edad. Lo cual se termina por comprobar que hay menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y laprobabilidad de que estos fallen.

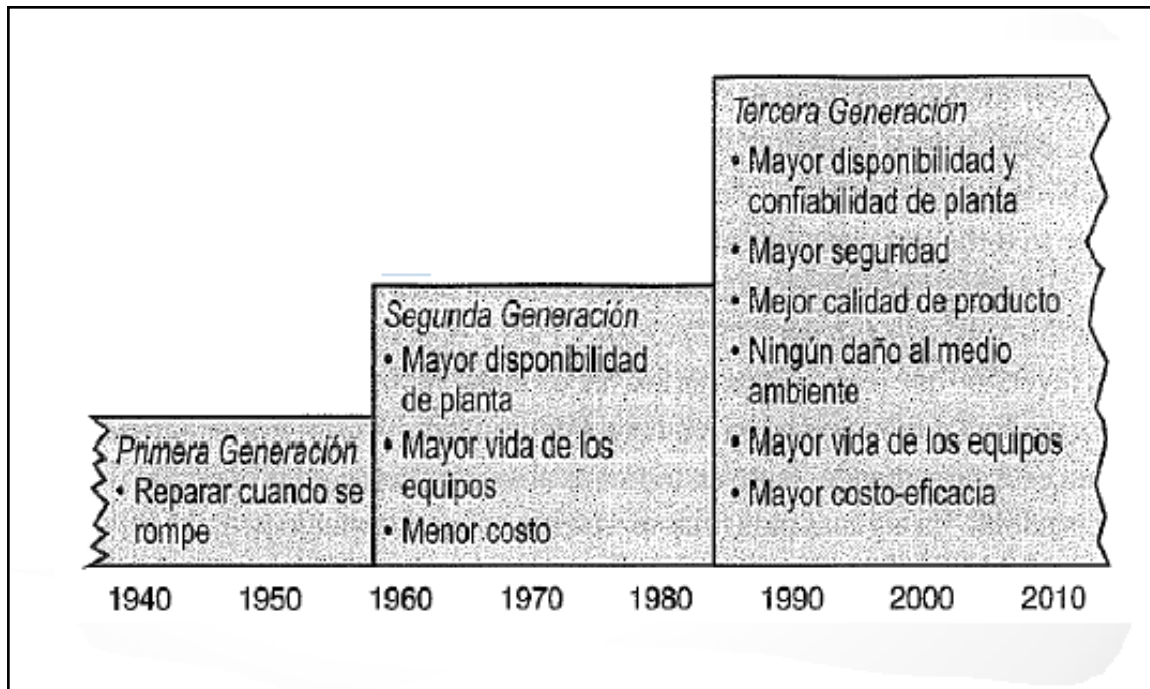


Figura 1 Cambio en las técnicas de Mantenimiento

(Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II, John Moubray)

La cuarta Generación es la etapa actual del mantenimiento enfocada en la utilización de nuevas metodologías y procedimientos para analizar los modos de fallas de los equipos. No olvidar que el mantenimiento industrial moderno busca cubrir siempre la seguridad y luego la operación. No es nuevo decir que los departamentos de mantenimiento son considerados como centros de costos y no de ganancias para la mayoría de las empresas. Sin embargo, las nuevas exigencias del mercado obligan a las empresas a operar bajo sistemas de gestión integrado como (ISO 9001, ISO 14001, OSHAS 18000), donde la seguridad de la vida humana es un punto central.

2.2 Gestión de Activos en el Mantenimiento

La gestión de activos, en el ámbito de la producción es un término adoptado como un rotulo para la gestión integral de la infraestructura industrial durante toda su vida útil. En la práctica, es la rama de la actividad empresarial que involucra los procesos de inversión y renovación de los equipos industriales, su operación, mantenimiento y el manejo de materiales y recursos asociados. (Arata, 2005).

Actualmente, la gestión de activos está enfocada a la optimización de la inversión y los costos de operación del equipo industrial; modelo denominado Life Cycle Cost (LCC), que consiste en el análisis de todos los costos generados por maquinas industriales desde la adquisición hasta la enajenación, facilitando las siguientes decisiones:

- La inversión, considerando el rendimiento, la vida útil y el precio.
- Los intervalos de inspección y mantenimiento.
- La gestión de repuestos y materiales.
- La planificación de detenciones en la producción.
- La determinación de conversiones y remplazos.
- La gestión de riesgo de operación.
- La evaluación de mejoramiento de planta, a nivel genético.

Es indudable que las decisiones involucradas en la gestión de activos son factores determinantes de la producción, la calidad, los residuos industriales, la seguridad y los requerimientos de recursos humanos para la operación de instalaciones industriales; siendo considerada frecuentemente como la función integradora de todas las actividades asociadas a la producción.(Arata, 2005).

De acuerdo con la norma ISO 55000 (Asset Management), “Un activo es un elemento, cosa o entidad que tiene un valor potencial o real para la organización. El periodo desde la creación de un activo hasta el final de su vida útil, es lo que se conoce como ciclo de vida del activo” (Noria, 2017).

2.3 *Mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM)*

Es una filosofía del mantenimiento, en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de falla de estos activos, a la seguridad, al ambiente y las operaciones. (C. Parra, 2006)

El proceso RCM inicia con un análisis de modos y efectos de falla, el cual identifica los modos de falla críticos de la planta de una manera sistemática y estructurada. El proceso requiere el análisis de cada modo de falla crítico para determinar la política óptima de mantenimiento para reducir la severidad de cada falla. La estrategia de mantenimiento seleccionada debe tener en cuenta las consecuencias en costos, seguridad, medio ambiente y producción. Los efectos de redundancias, costos de repuestos, costos de personal, envejecimiento de equipos y tiempos de reparación deben de ser considerados junto con muchos otros parámetros.

Una vez que las políticas óptimas de mantenimiento han sido seleccionadas, el proceso RCM suministrara predicciones y costos del desempeño del sistema, requerimientos de repuestos y niveles de personal de las cuadrillas de mantenimiento. El proceso RCM puede ser usado para desarrollar una estrategia de mantenimiento viva, mediante la actualización del modelo de la planta cada vez que se tenga disponible nueva información o se presenten cambios en el diseño de las plantas.

2.4 Modelamiento de Confiabilidad y Disponibilidad (RAM)

Es una técnica utilizada para simular diferentes escenarios de plantas y equipos mediante la utilización de herramientas computarizadas.

Esta técnica permite evaluar diferentes alternativas de mejoramiento antes de comprometer costosos recursos de capital, convirtiéndose en una forma costo-efectiva de optimizar la disponibilidad de las plantas.

Puede ser igualmente utilizada para modelar mejoras en plantas tendientes a reducir el riesgo, mejorar la capacidad de las plantas, reducir los costos de mantenimiento y optimizar niveles de inventario de repuestos.

El moldeamiento de confiabilidad consiste en una representación de la interacción de los diferentes equipos de un sistema para producir fallas del sistema, determinando el impacto del desempeño de los equipos en la disponibilidad de la planta y en los objetivos del negocio. Es utilizado como una herramienta de análisis cuantitativo del desempeño de equipos y plantas y del impacto económico de cambios en el diseño o modificaciones, eliminando la subjetividad en la toma de decisiones.

2.5 *Análisis Weibull*

Para conseguir un verdadero entendimiento de la manera como fallan los equipos de una planta es necesario determinar sus parámetros de falla, mediante el análisis de tiempos de vida de componentes soportado por el análisis Weibull. La distribución Weibull fue desarrollada por el Dr. Waloddi Weibull en 1937 cuando compraba ratas de mortalidad de diferentes grupos poblacionales.

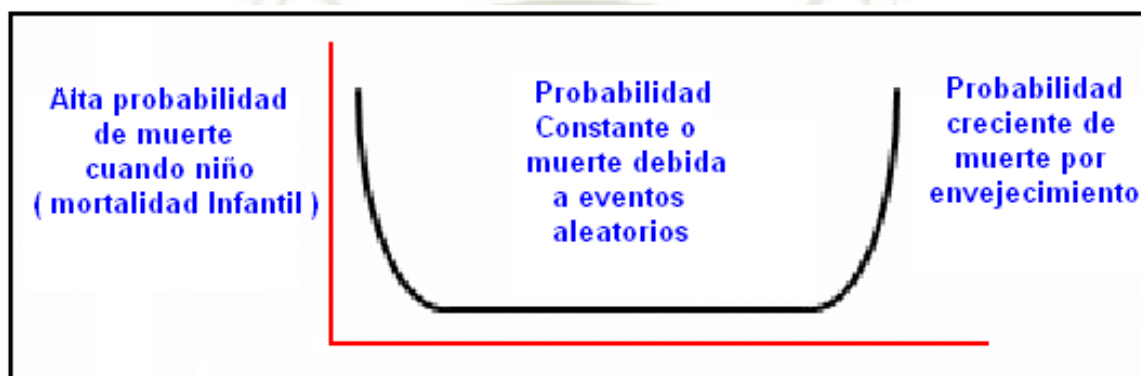


Figura 2 Curva de la función de la tasa de fallas

(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

La fórmula Weibull permite describir la forma de la curva para cada una de las 3 zonas:

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

Dónde:

- R(t) = Confiabilidad en el tiempo t.
- t = tiempo considerado.
- η = Vida característica.
- β = Factor de forma.

La vida característica es definida como el tiempo en el cual el 63.2% de la población habrá fallado. Para $\beta = 1$ (distribución exponencial) el MTTF y η son aproximadamente iguales.

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil

$\beta = 1$ Indica fallas aleatorias

$\beta > 1$ Indica fallas por envejecimiento

La principal ventaja del análisis de Weibull, es que permite realizar análisis y predicción de fallas de manera razonable con muestras pequeñas de datos. Otra ventaja es que permite graficar de manera más sencilla tiempos de falla en papel Weibull, desarrollado en 1951. Esta grafica permite determinar los valores de η y β .

Con el análisis Weibull se pueden solucionar los siguientes problemas:

- Pronóstico y predicción de fallas.
- Evaluación de planes de acción correctivos.
- Justificación de cambios de ingeniería.
- Definición y planeación de cambios de estrategia de mantenimiento y reemplazo costo – efectivas.
- Pronósticos de repuestos.
- Predicción de costos.

2.6 *High Pressure Grinding Roll (HPGR)*

Es un Molino de Rodillos de alta presión, cuya tecnología industrial es usada desde mediados de los 80's, inicialmente en la industria del carbón, luego Industria del Cemento y recientemente aplicado en la industria Minería.

La empresa minera del sur del Perú, es la primera en usar HPGR en el chancado terciario, la cual reduce el mineral de 46mm a 10mm.

La chancadora terciaria HPGR (Chancadora de rodillos de alta presión), es accionada por dos motores de 2500kW, está compuesta de:

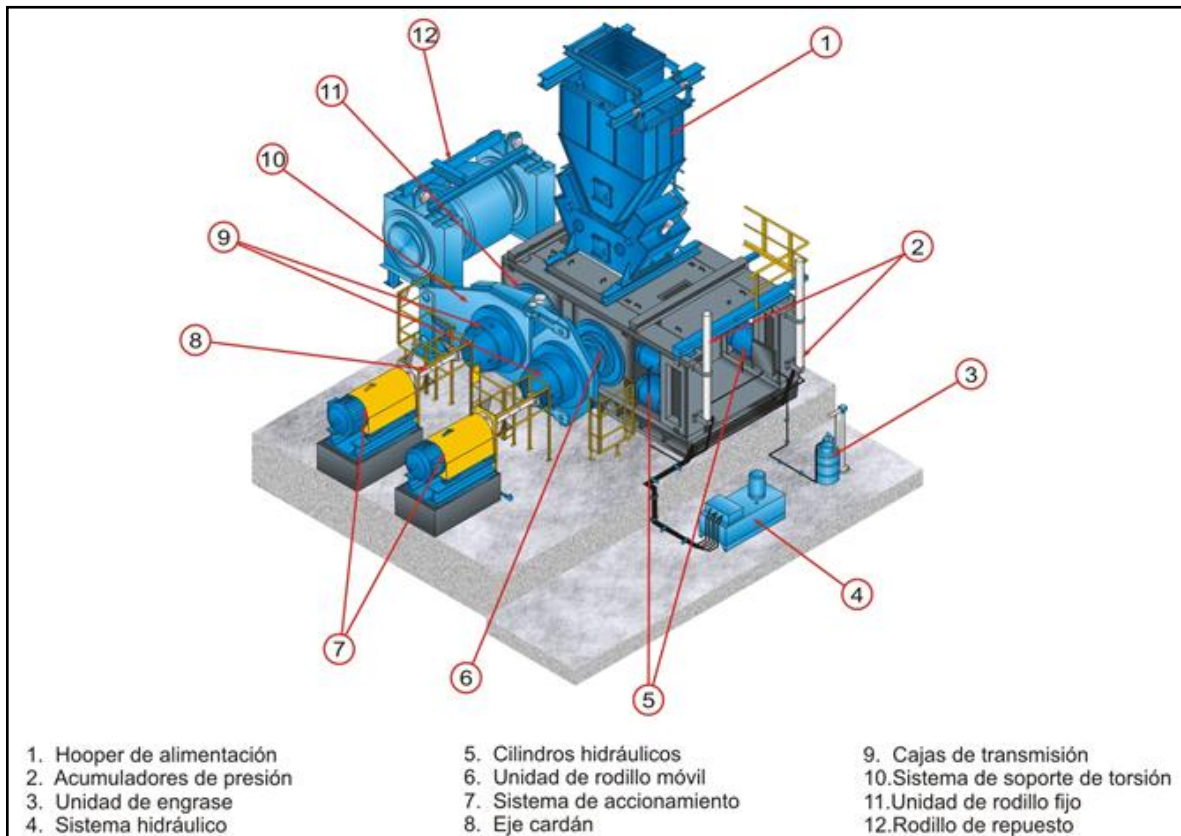


Figura 3 High Pressure Grinding Roll
(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

2.6.1 Hooper de Alimentación

Está hecha de acero, y es la encargada de recibir el mineral por la entrada de tolva hacia la tolva de alimentación misma y de canalizarlo por su parte inferior pasando por el tolvín regulable hasta ingresar a la chancadora, la parte inferior de la tolva cuenta con una puerta la cual sirve para realizar inspecciones (Ver Figura 3).

2.6.2 Unidad de Engrase

Se encarga de mantener lubricados los carriles guía de los rodillos, así también los rodamientos del rodillo fijo y del rodillo móvil. La inyección de grasa se realiza mediante una bomba de pulsos, la cual transporta la grasa hasta la unidad de control, que consta de dos distribuidores, un filtro y dos válvulas solenoide. (Ver Figura 4).

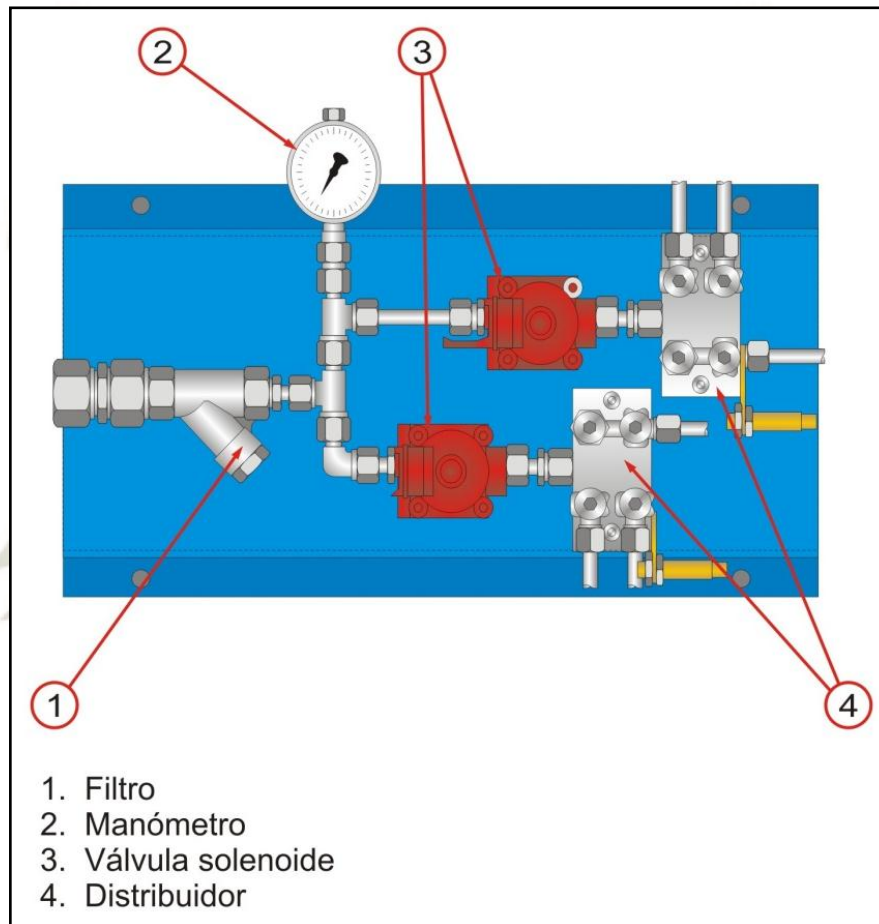


Figura 4 Unidad de Engrase
(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

Los distribuidores se encargan de repartir la grasa a los puntos de lubricación para rodamientos de rodillos y de las rieles guía según se requiera. (Ver Figura 5 y Figura 6).

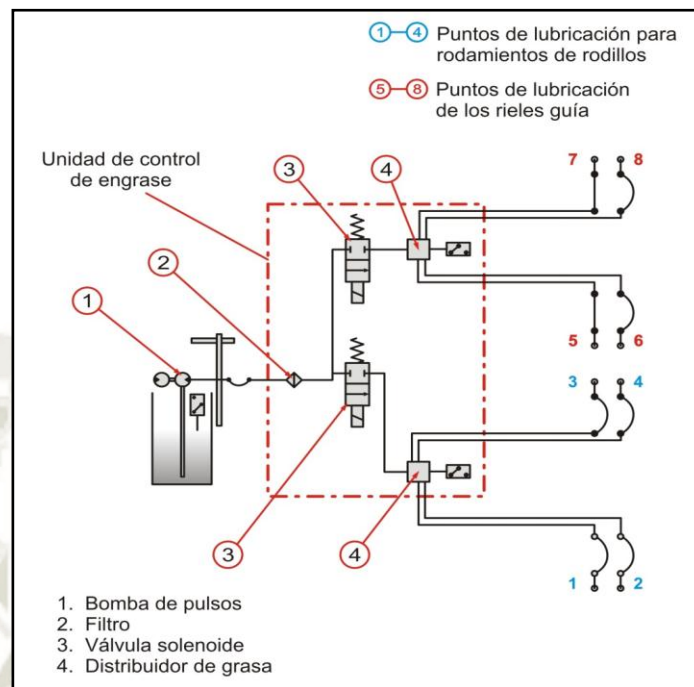


Figura 5 Circuito de la unidad de control con bomba de pulsos
(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

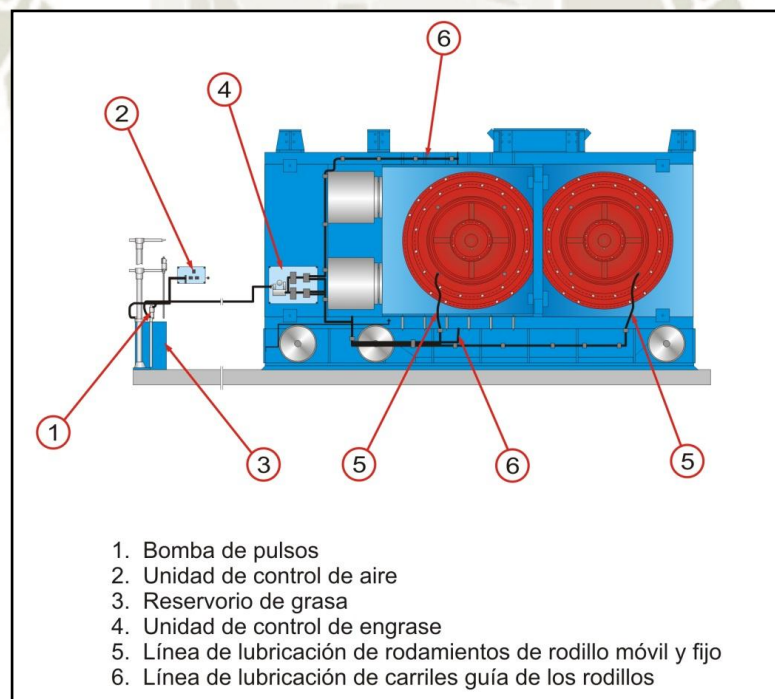


Figura 6 Sistema Central de Lubricación
(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

2.6.3 Sistema Hidráulico

Consta de dos motores eléctricos de 30kW, dos bombas de marca Voith, un filtro y un depósito de aceite HBE. (Ver Figura 7).

El sistema hidráulico se encarga de: desplazar hacia adelante y hacia atrás la unidad de rodillo móvil, generar la presión necesaria para poder reducir el mineral a un tamaño recomendable para molienda (Ver Figura 8).

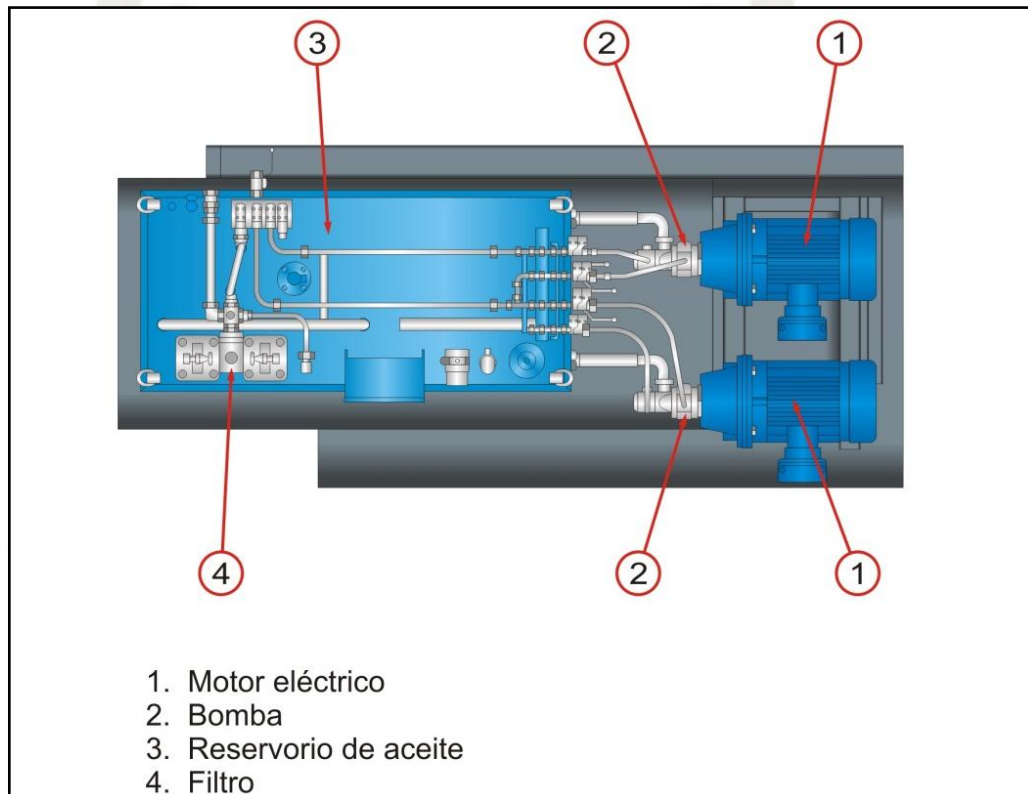


Figura 7 Partes del Sistema hidráulico

(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

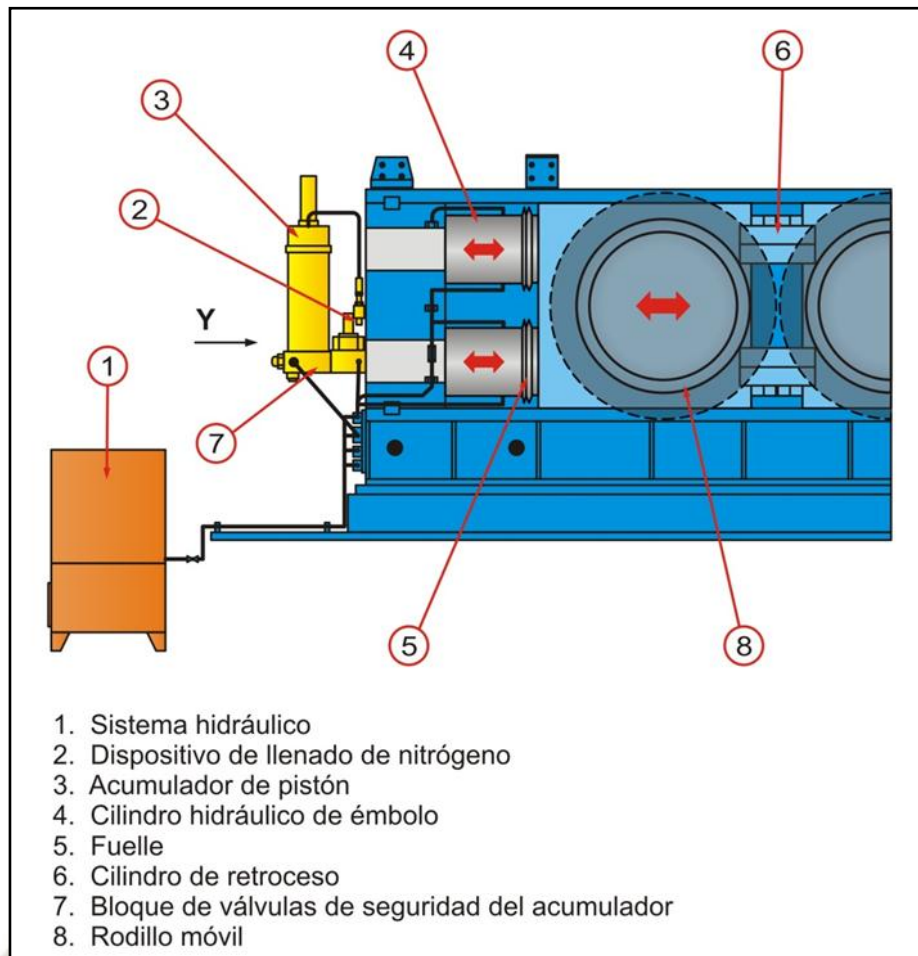


Figura 8 Desplazamiento del rodillo Móvil

(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

2.6.4 Rodillo Fijo y Móvil

Se encargan de fragmentar el mineral, la reducción de tamaño se da lugar entre los dos rodillos (móvil y fijo) los cuales giran en sentidos opuestos; el espacio en donde se realiza la reducción de tamaño se denomina “lecho de mineral”. (Ver Figura 9).

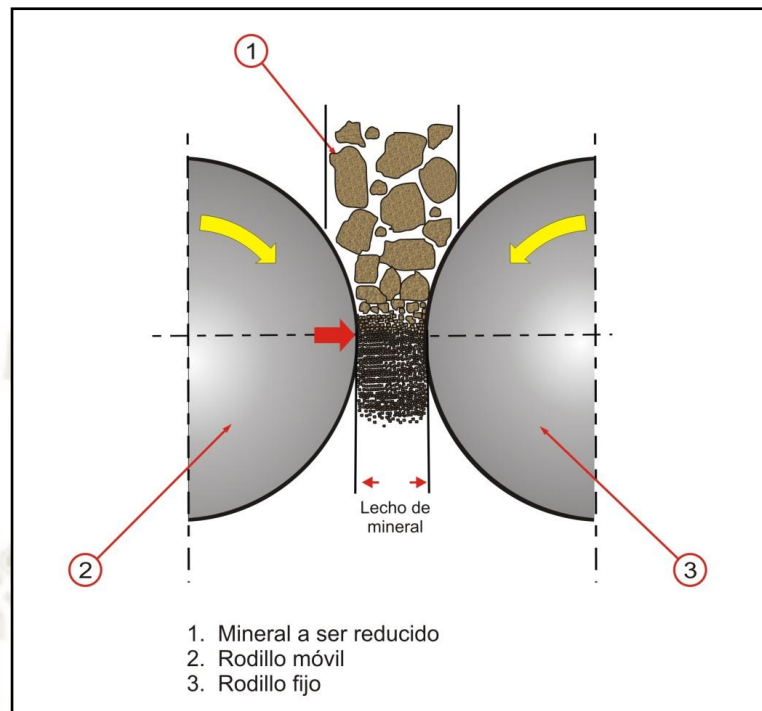


Figura 9 Rodillo Fijo y Móvil
(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

Cada rodillo está cubierto a manera de revestimiento por studs, los cuales son los que entran en contacto con el mineral a ser molido. (Ver Figura 10).

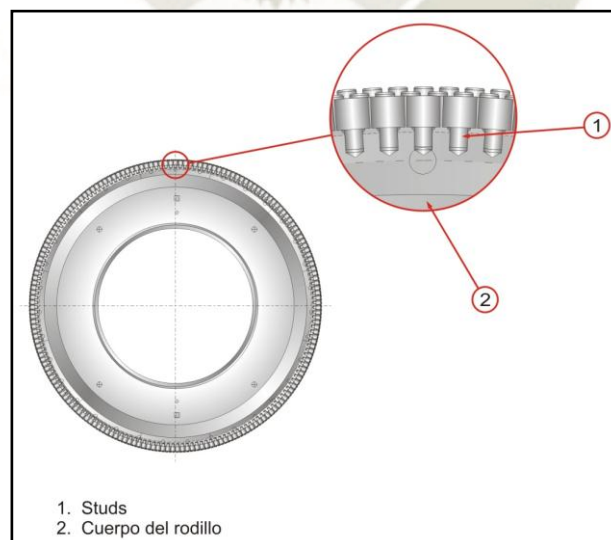


Figura 10 Disposición de los studs en el rodillo
(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

2.6.5 Caja de Transmisión

Es el encargado de reducir las revoluciones del motor eléctrico y transmitir las a los rodillos del chancador, cada caja de transmisión cuenta con un sistema de lubricación, quien proporciona aceite para mantener lubricados sus engranajes. (Ver Figura 11).

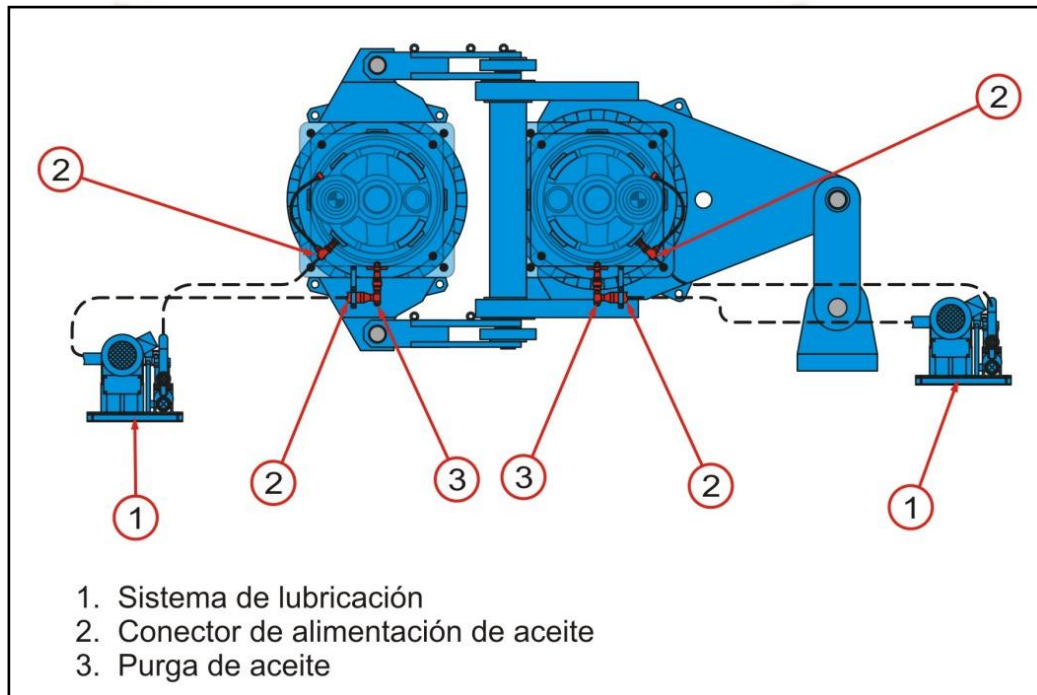


Figura 11 Circuito de lubricación de la caja de transmisión

(Fuente: Manual Polysius / Thyssenkrupp)

2.6.6 Principio de Funcionamiento

El rodillo fijo y el rodillo móvil son accionados por separado por una unidad de accionamiento cada una, la transmisión de movimiento rotatorio del motor a la caja de transmisión se da por un eje articulado (eje cardán), los momentos de reacción de las cajas de transmisión son absorbidos por un soporte de torsión.

Cuando el mineral ingresa por el hooper de alimentación hacia los rodillos, éste es reducido por la presión generada entre los rodillos y el mineral, el rodillo móvil es quien ejerce presión debido a los cilindros hidráulicos que empujan los bloques de los rodamientos del eje del rodillo. Durante la operación habrá momentos en que el rodillo móvil sea empujado hacia atrás, la amortiguación de este empuje se realiza por un acumulador de

nitrógeno unido por una línea hidráulica con los cilindros hidráulicos (Ver Figura12).

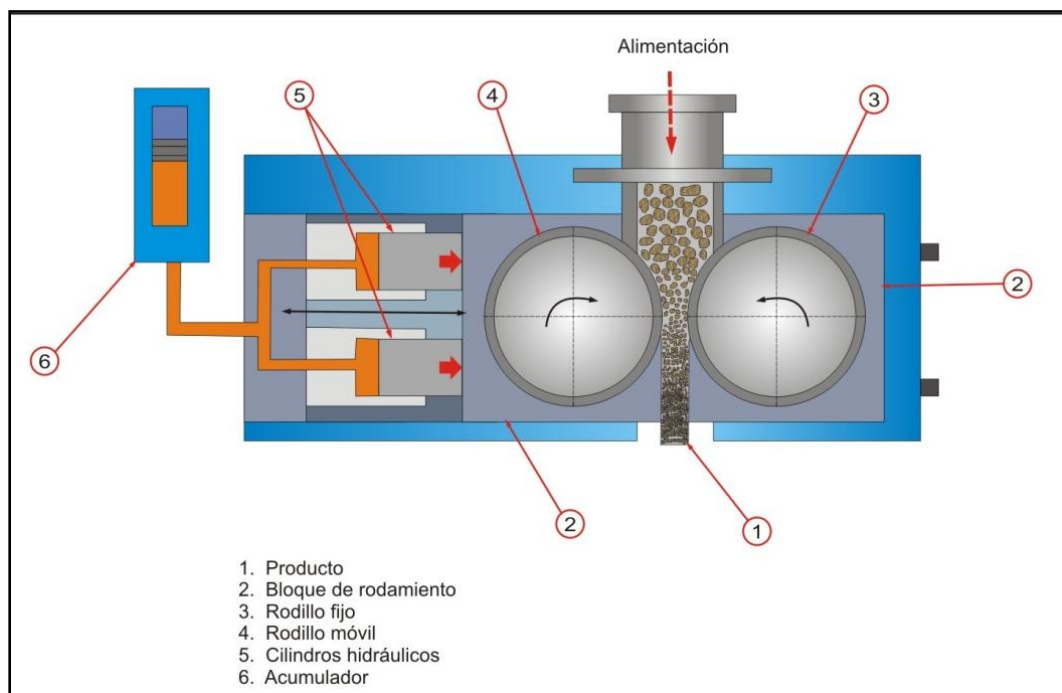


Figura 12 Funcionamiento de la Chancadora HPGR
(Fuente: *Manual Polysius / Thyssenkrupp*)

CAPITULO III

EQUIPOS NATURALES DE TRABAJO

3.1 *Capacitación del Facilitador*

NOMBRE Y APELLIDO	CARGO	EMPRESA	FECHA DE CAPACITACION	COSTO
Oscar Salgado	Facilitador	SMCV	19-Nov-17	

Tabla 2 Datos del facilitador.
(Fuente: Elaboración propia)

3.2 *Formación Inicial del Equipo Natural de Trabajo (ENT)*

NOMBRE Y APELLIDO	CARGO	FUNCION	PRINCIPAL O RESPALDO	TELEFONO E-MAIL
Maykol Fernandez	Líder	Liderar el Equipo Natural de Trabajo	Principal	
Oscar Salgado	Facilitador	Guía el equipo y administra la información	Principal	
Alfonso Vargas	Miembro	Aporte de ideas al equipo	Respaldo	

Tabla 3 Datos del equipo natural de trabajo.
(Fuente: Elaboración propia)

3.3 Programación de reuniones (AGENDA)

No.	CUANDO FECHA	TIEMPO (HORAS)	DONDE?	QUE?	COMO?	QUIEN?
1	28-Nov-17	3.5	SMCV – Sala de reunión SMCV – Sala de reunión	Recolectar información de equipos.	Maykol Fernández, se compromete a enviar información por email, así como traer información para la siguiente clase	Maykol Fernández
				Completar los sistemas y Sub sistemas a Analizar	El formato será enviado por Oscar Salgado	Maykol Fernández
				capacitación del sistema y buscar información	Buscar más información en planta	Alfonso Vargas
				Tipiar las tablas del laboratorio respecto a Equipo Natural de Trabajo	Tipiar en documento Word	Oscar Salgado
2	20-Dic-17	4	En casa, y traer avances para la siguiente sesión de clases	Tipiar las tablas del laboratorio respecto a Capacidad basada en riesgo	Tipiar en documento Word	Oscar Salgado se encargara de realizar el formato en documento word y será enviado a Maykol Fernández, para que ingrese toda la información correspondie nte a la tabla.

No.	CUANDO FECHA	TIEMPO (HORAS)	DONDE?	QUE?	COMO?	QUIEN
2	20-Dic-17	4	En casa, y traer avances para la siguiente sesión de clases	Tipiar las tablas del laboratorio respecto a Contexto operacional	Tipiar en documento Word	Alfonso Vargas
				Tipiar las tablas del laboratorio respecto a Análisis de Modos, efectos y criticidad de la falla: AMECF	Tipiar en documento Word	Alfonso Vargas
				Tipiar las tablas del laboratorio respecto a Consecuencias, Viabilidad y plan de Mantenimiento centrado en la Confiabilidad	Tipiar en documento Word	Maykol Fernández
3	04-Ene-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Análisis de criticidad y diagramas EPS a nivel de sistema, subsistema, equipo y componente.	Evaluar a nivel de subsistema, asignando puntajes y determinando su criticidad. Realizar diagramas considerando las entradas y salidas del proceso	Todo el grupo

No.	CUANDO FECHA	TIEMPO (HORAS)	DONDE	QUE	COMO?	QUIEN
4	26-Ene-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Fallas funcionales y Modos de fallas	Con la información recolectada, describimos las fallas funcionales y modos de fallas	Todo el grupo
5	01-Feb-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Efectos de fallas	Evaluamos las consecuencias en seguridad, ambiente, operaciones y mantenimiento	Todo el grupo
6	03-Feb-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Realizar análisis NPR	Usamos las tablas con sus respectivos criterios y evaluamos asignando puntajes.	Todo el grupo
7	18-Feb-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Selección de Planes de Mtto.	Entramos al árbol de decisión para seleccionar la tarea más adecuada.	Todo el grupo
8	10-Mar-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Análisis de viabilidad técnica y económica	El líder se encargará de conseguir la información necesaria acerca de los costos	Todo el grupo
8	25-Mar-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Última revisión de detalles faltantes	Revisión grupal del trabajo desde el inicio.	Todo el grupo
10	17-Abr-18	3.5	SMCV – Sala de reunión	Presentación del trabajo terminado		Todo el grupo

Tabla 4 Programación de reuniones y agenda.
(Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO IV PROCESO PRODUCTIVO

Con el fin de entender mejor el proceso productivo, se ha realizado los siguientes gráficos partiendo por los Procesos principales de la Planta Concentradora, hasta llegar a los diferentes sub-procesos de chancado.



Figura 13 Procesos de la Planta Concentradora

(Fuente: Elaboración propia)

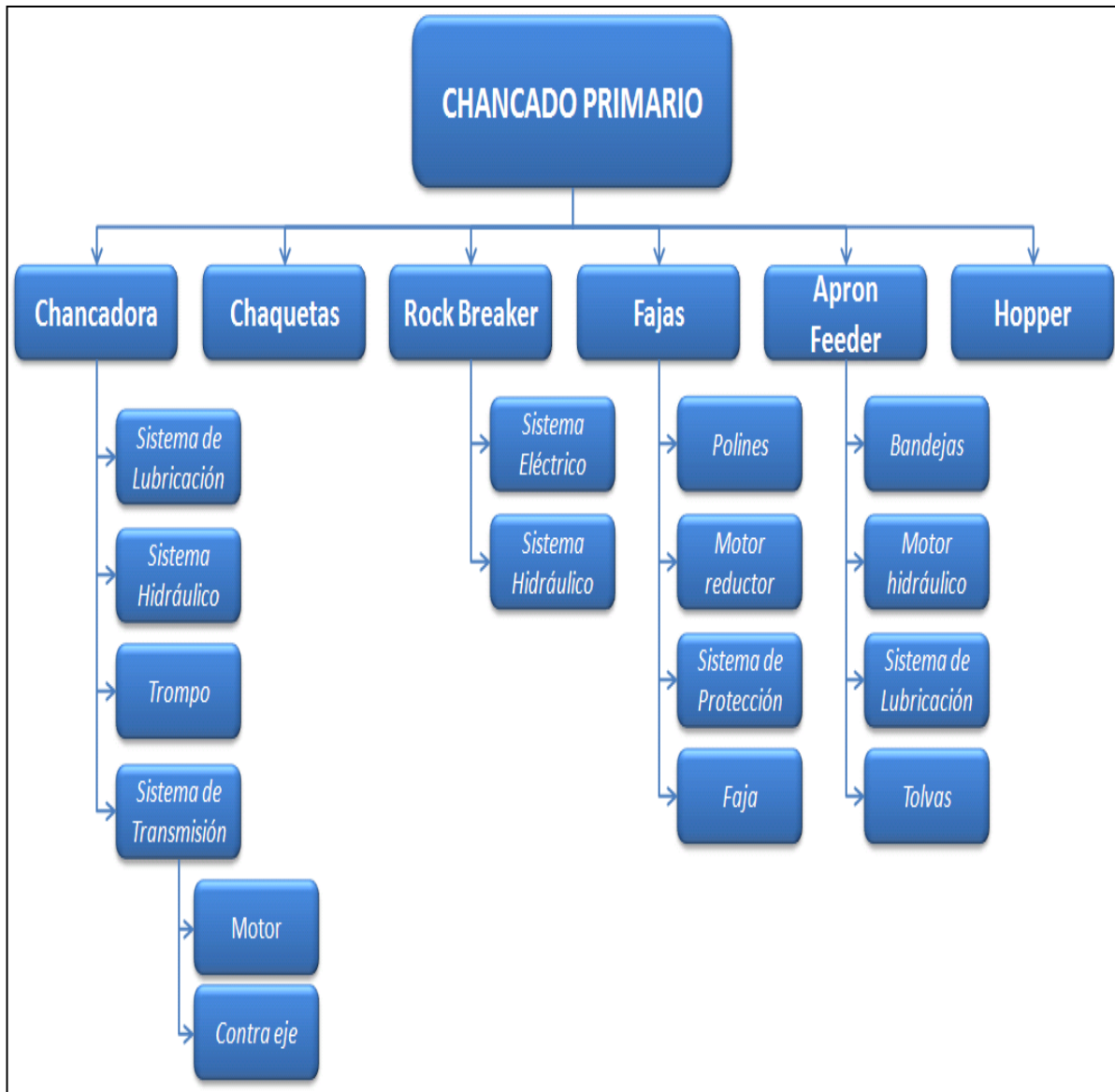


Figura 14 Sistemas y subsistemas del Chancado Primario
(Fuente: Elaboración propia)

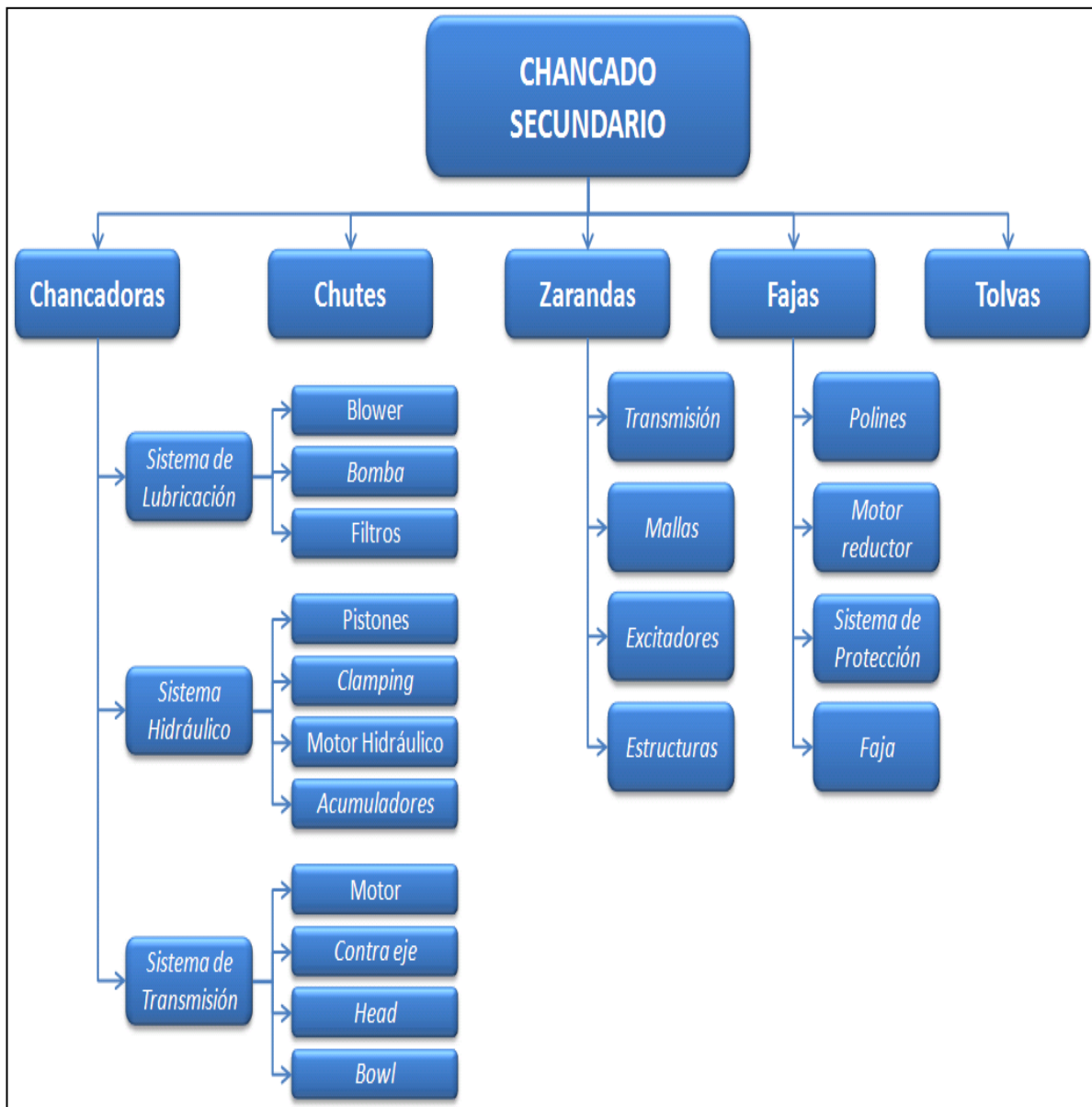


Figura 15 Sistemas y subsistemas del Chancado Secundario
(Fuente: Elaboración propia)

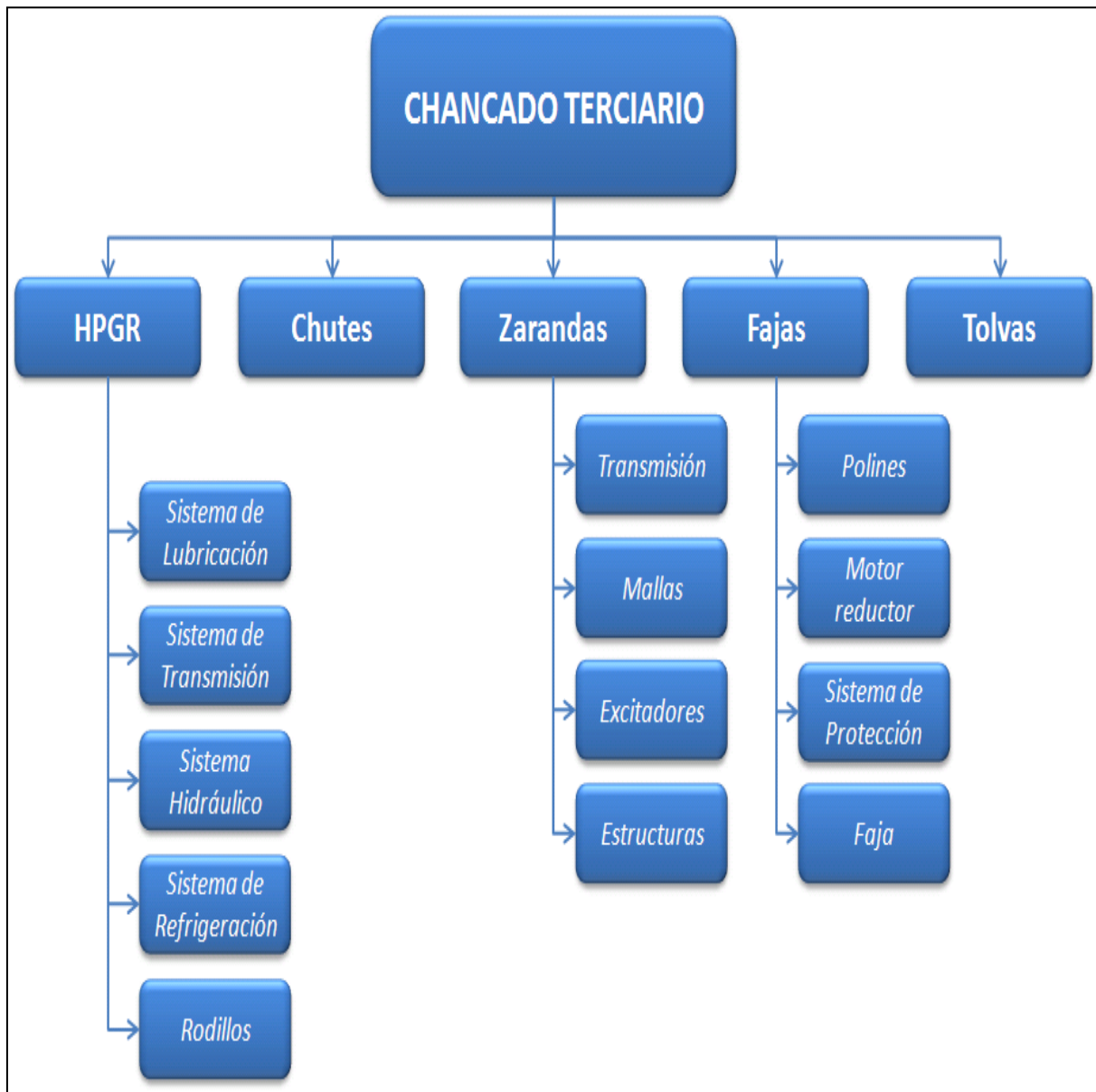


Figura 16 Sistemas y subsistemas del Chancado Terciario

(Fuente: Elaboración propia)

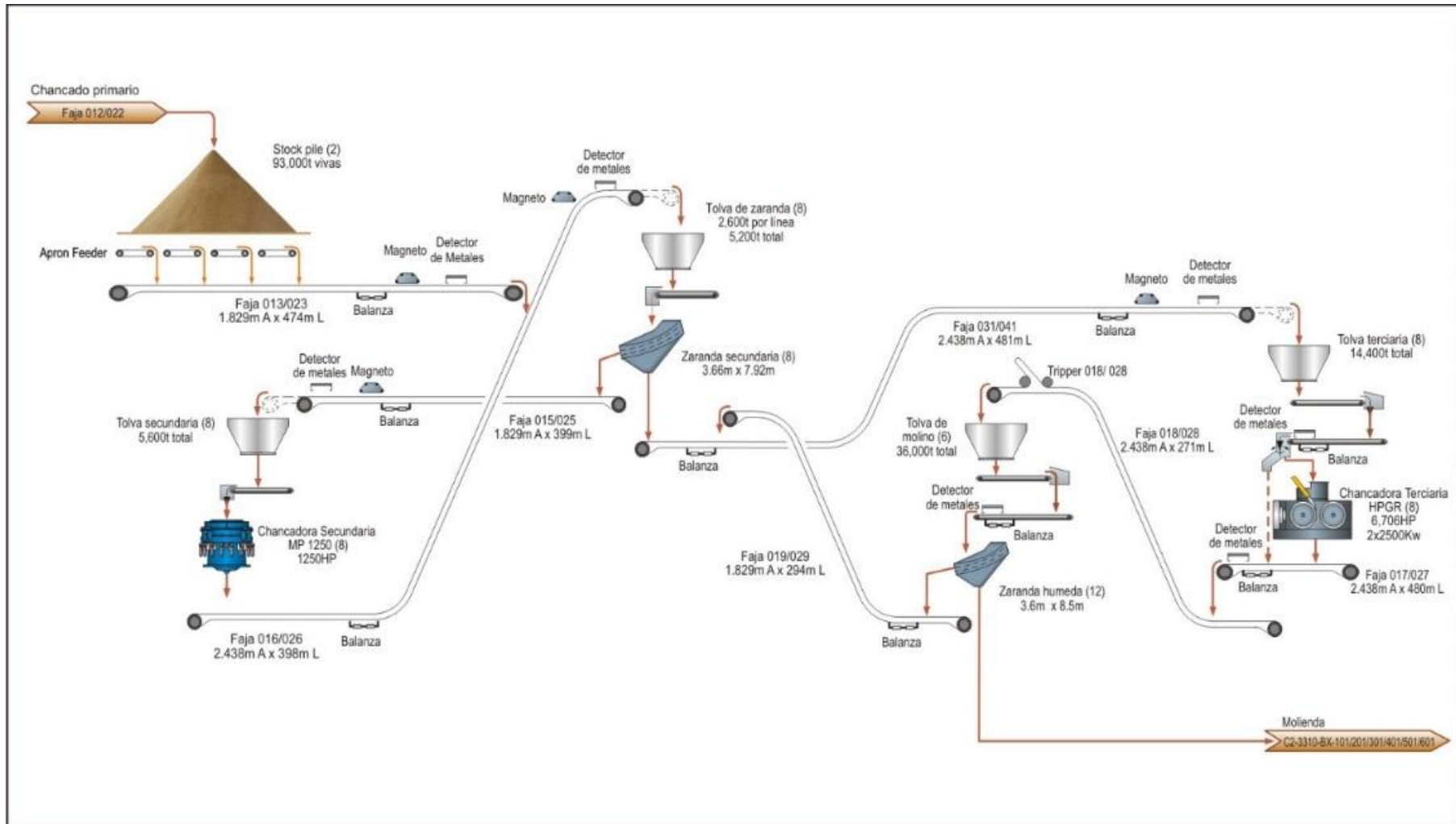


Figura 17 Diagrama general del circuito de Chancado Terciario
(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO V

CONTEXTO OPERACIONAL

5.1 Datos Generales de la Empresa

EMPRESA	Empresa Minera del Sur del Perú
RAZÓN SOCIAL	Minería
RUBRO	Minería
UBICACIÓN	Arequipa

5.2 División del Proceso en el Nivel de Detalle

PROCESO	EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	
CHANCADO	CHANCADO TERCIARIO	HIGH PRESSURE GRINDING ROLLS (HPGR)	ACCIONAMIENTO	
			REFRIGERACION DE REDUCTOR	
			REFRIGERACION DE RODAMIENTOS	
			UNIDAD DE RODILLOS MÓVIL Y FIJO	
			RODAMIENTOS DE LOS RODILLOS	
			BASTIDOR DE RODILLOS	
			CARCASA DE RODILLOS	
			UNIDAD DE ENGRASE CENTRAL	
			SUB - SISTEMA HIDRAULICO	
			TOLVA	
			TOLVIN	
		INSTRUMENTACION Y CONTROL		
		ZARANDAS	TRANSMISION	
			MALLAS	
			EXITADORES	
			ESTRUCTURAS	
		FEEDER	POLINES	
			MOTOR REDUCTOR	
			SISTEMA DE PROTECCION	
			FAJA	
			ESTRUCTURA	
		CHUTES	LIMPIADOR	
			SISTEMA DE ALINEAMIENTO	
			ESTRUCTURA	
		TOLVAS	LINERS	
			ESTRUCTURA	
				LINERS

Tabla 5 Chancado Terciario, sistemas y sub sistemas
(Fuente: Elaboración propia)

5.3 *Listado de componentes de cada Sistema o Subsistema según el Análisis de Criticidad*

SUB PROCESO	SISTEMA	SUBSISTEMA	CANT. APROX. COMP.
CHANCADO Terciario	HIGH PRESSURE GRINDING ROLLS (HPGR)	ACCIONAMIENTO	15
		REFRIGERACION DE REDUCTOR	5
		REFRIGERACION DE RODAMIENTOS	5
		UNIDAD DE RODILLOS MÓVIL Y FIJO	18
		RODAMIENTOS	5
		BASTIDOR DE RODILLOS	18
		CARCASA DE RODILLOS	9
		UNIDAD DE ENGRASE CENTRAL	15
		SUB - SISTEMA HIDRAULICO	7
		TOLVA	18
		TOLVIN	21
		INSTRUMENTACION Y CONTROL	8
	ZARANDAS	TRANSMISION	3
		MALLAS	8
		EXITADORES	4
		ESTRUCTURAS	1
	FEEDER	POLINES	3
		MOTOR REDUCTOR	4
		SISTEMA DE PROTECCION	7
		FAJA	1
		ESTRUCTURA	1
		LIMPIADOR	2
		SISTEMA DE ALINEAMIENTO	5
	CHUTES	ESTRUCTURA	1
		LINERS	5
	TOLVAS	ESTRUCTURA	1
		LINERS	5

Tabla 6 Chancado Terciario, cantidad de componentes por sub sistemas
(Fuente: Elaboración propia)

Propósitos

NIVEL DE DETALLE	NOMBRE DEL NIVEL DE DETALLE	PROPOSITO
Proceso	Proceso de Chancado	Triturar el mineral desde 1m hasta 10mm
Subproceso	Chancado Terciario	Seleccionar el mineral y reducir su tamaño de 46 mm hasta 10 mm
Equipo	HPGR	Triturar el mineral desde 46 mm hasta 10 mm
Sistema	Unidad de rodillos fijo y móvil	Realizar la trituración del mineral
Subsistema	Varios	Varios

Tabla 7 Descripción de nivel de detalle del Chancado Terciario

(Fuente: Elaboración propia)

Diagrama Entrada – Proceso – Salida (EPS) del Proceso



Figura 18 Entrada / Salida del Proceso de Chancado Terciario

(Fuente: Elaboración propia)

Diagrama Entrada – Proceso – Salida (EPS) del Equipo

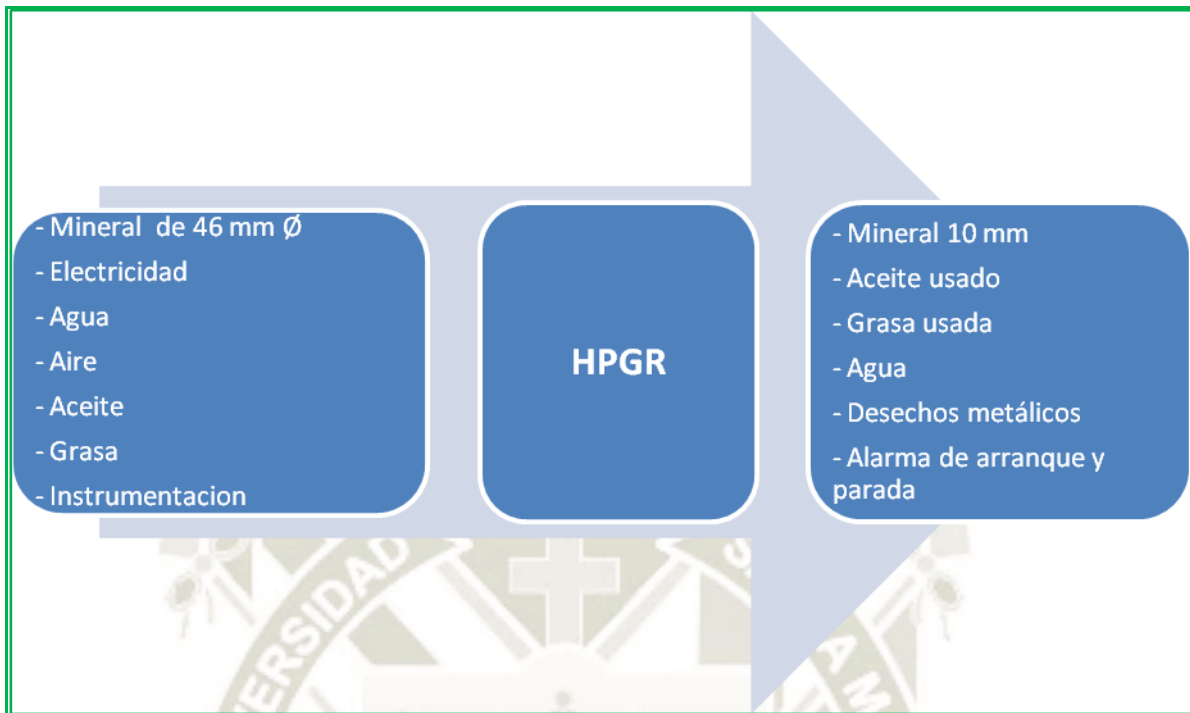


Figura 19 Entrada / Salida del Proceso del HPGR.
(Fuente: Elaboración propia)

Diagrama Entrada – Proceso – Salida (EPS) del Sistema

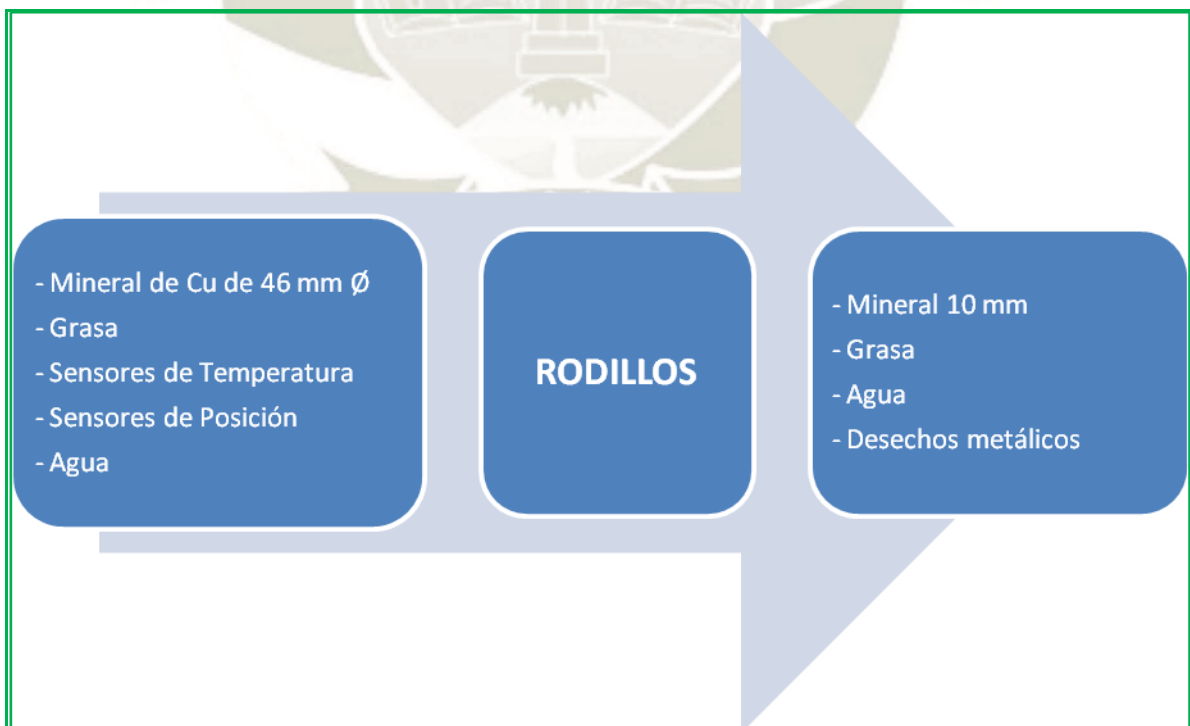


Figura 20 Entrada / Salida del Proceso de los Rodillos.
(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE CRITICIDAD BASADA EN EL RIESGO

6.1 *Criterios para el Impacto en Seguridad*

	CRITERIO	PESO
	CAUSA DE MUERTE	10
	LESION CON DESCANSO MEDICO	8
	LESIONES SIN PERDIDAS DE H.H.	5
	NO CAUSA LESIONES A PERSONAS	0

Tabla 8 Criterios para el análisis de impacto en Seguridad.
(Fuente: Elaboración propia)

6.2 *Criterios para el Impacto en Medio Ambiente*

	CRITERIO	PESO
	DAÑO IRREVERSIBLE AL MEDIO AMBIENTE	10
	DAÑO REVERSIBLE CON IMPLICANCIA A NORMATIVA LEGAL	8
	DAÑO IRREVERSIBLE SIN IMPLICANCIA LEGAL	4
	NO CAUSA NINGUN DAÑO	0

Tabla 9 Criterios para el análisis de impacto al Medio Ambiente
(Fuente: Elaboración propia)

6.3 *Criterios para el Impacto en Producción*

	CRITERIO	PESO
	DETENCION DE TODA PLANTA 100%	8
	DETENCION DEL 50%	6
	DETENCION DEL 25%	4
	NO IMPACTA EN AL PRODUCCION	2

Tabla 10 Criterios para el análisis de impacto a la Producción
(Fuente: Elaboración propia)

6.4 *Conceptos o Criterios para el Nivel de Producción Manejado*

	CRITERIO	PESO
	DEJA DE PRODUCIR 100%	4
	DEJA DE PRODUCIR 70%	3
	DEJA DE PRODUCIR 30%	2
	NO DEJA DE PRODUCIR	1

Tabla 11 Criterios para el análisis de Nivel de la Producción Manejado.
(Fuente: Elaboración propia)

6.5 *Criterios para el Tiempo Promedio de reparación*

	CRITERIO	PESO
	MAYOR A 3 DIAS	6
	ENTRE 1 Y 3 DIAS	4
	MENOR A 1 DIA	3
	MENOR A 4 HORAS	1

Tabla 12 Criterios para el Tiempo Promedio de Reparación
(Fuente: Elaboración propia)

6.6 *Criterios para la Frecuencia de Falla*

	CRITERIO	PESO
	MAYOR A 4 FALLAS/AÑO	6
	PROMEDIO 2-4 FALLAS/AÑO	4
	BUENA 1-2 FALLAS	3
	EXCELENTE MENORES A 1 FALLA/AÑO	1

Tabla 13 Criterios para la Frecuencia de Falla
(Fuente: Elaboración propia)

6.7 *Criterios para el Impacto en el Mantenimiento*

	CRITERIO	PESO
	MAYORES A \$100000.00	6
	ENTRE \$50000.00 Y \$100000.00	5
	ENTRE \$10000.00 Y \$50000.00	4
	MENORES A \$10000.00	2

Tabla 14 Criterios para el impacto en el Mantenimiento
(Fuente: Elaboración propia)

6.8 *Rangos de Puntajes para la Matriz del Nivel de Criticidad*

CRITICIDAD	CODIGO	RANGO
ALTA (CRITICO)	C	VER GRAFICO
MEDIA (SEMICRITICO)	S	VER GRAFICO
BAJA (NO CRITICO)	N	VER GRAFICO

Tabla 15 Designación de criticidad
(Fuente: Elaboración propia)

FRECUENCIA	6	SC	SC	C	C	C
	4	SC	SC	SC	C	C
	3	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		0-24	24-48	48-72	72-96	96-120
		CONSECUENCIA				

Tabla 16 Puntajes en la matriz de Criticidad.
(Fuente: Elaboración propia)

6.9 Nivel de Criticidad

Primero, determinamos el valor de la Consecuencia con la siguiente fórmula:

CONSECUENCIA

= (Nivel de Producción * TPPR * Impacto a la Producción)

+ Impacto a Seguridad y personas

+ Impacto al Medio Ambiente

+ Impacto por mantenimiento

Finalmente, una vez hallado el valor de la Consecuencia, se procede a hallar el Nivel de Criticidad a cada Sistema o Subsistema, en la siguiente fórmula:

CIRITICIDAD = FRECUENCIA * CONSECUENCIA



<i>SISTEMA</i>	<i>SUBSISTEMA</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>Impacto Seg. Y</i> <i>Persono</i>	<i>Imp.acto Amb.</i>	<i>Nivel. Prod.</i>	<i>TPPR</i>	<i>Impacto. Prod.</i>	<i>Impacto. Mantto</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>PUNTAJE</i>	<i>CRITICIDAD</i>
<i>HIGH PRESSURE GRINDING ROLLS (HPGR)</i>	ACCIONAMIENTO	1	5	4	4	3	4	6	63	63	NC
	REFRIGERACION DE REDUCTOR	6	5	4	2	1	4	2	19	114	SC
	REFRIGERACION DE RODAMIENTOS	6	5	0	2	1	4	2	15	90	SC
	UNIDAD DE RODILLOS MÓVIL Y FIJO	3	5	0	4	6	4	6	10 7	321	C
	RODAMIENTOS	4	5	1	4	6	4	6	10 8	432	C
	BASTIDOR DE RODILLOS	1	5	0	1	1	2	2	9	9	NC
	CARCAZA DE RODILLOS	1	5	0	1	1	2	2	9	9	NC
	ENGRASE CENTRAL	6	5	4	1	1	2	2	13	78	SC
	SUB - SISTEMA HIDRAULICO	5	10	7	4	1	4	2	35	175	SC
	TOLVA	4	5	0	1	1	2	2	9	36	SC
	TOLVIN	4	5	0	1	1	2	2	9	36	SC
INSTRUMENTACIO N Y CONTROL	6	5	0	4	1	2	2	15	90	SC	

Tabla 17 Evaluación del nivel de criticidad para el HPGR (sistemas y sub sistemas).
(Fuente: Elaboración propia)

<i>SISTEMA</i>	<i>SUBSISTEMA</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>Impacto Seg. Y Perso.</i>	<i>Imp.acto Amb.</i>	<i>Nivel. Prod.</i>	<i>TPPR</i>	<i>Impacto. Prod.</i>	<i>Impacto. Mantto</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>PUNTAJE</i>	<i>CRITICIDAD</i>
<i>ZARANDAS</i>	TRANSMISION	1	5	0	4	1	2	2	15	15	NC
	MALLAS	6	10	0	1	1	2	2	14	84	SC
	EXCITADORES	1	5	4	4	1	2	4	21	21	NC
	ESTRUCTURAS	1	5	0	4	1	2	4	17	17	NC
	LINERS	6	5	0	1	3	2	4	15	90	SC

Tabla 18 Evaluación del nivel de criticidad para la zaranda (sistemas y sub sistemas).
(Fuente: Elaboración propia)

<i>SISTEMA</i>	<i>SUBSISTEMA</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>Impacto Seg. Y Perso.</i>	<i>Imp.acto Amb.</i>	<i>Nivel. Prod.</i>	<i>TPPR</i>	<i>Impacto. Prod.</i>	<i>Impacto. Mantto</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>PUNTAJE</i>	<i>CRITICIDAD</i>
<i>FEEDER</i>	POLINES	6	5	0	4	1	4	2	23	138	SC
	MOTOR REDUCTOR	1	5	0	4	1	4	4	25	25	NC
	SISTEMA DE PROTECCION	1	10	0	4	1	4	2	28	28	NC
	FAJA	2	5	0	4	3	4	5	58	116	NC
	ESTRUCTURA	1	5	0	2	3	4	4	33	33	NC
	LIMPIADOR	4	5	0	2	1	2	2	11	44	SC
	SUB - SISTEMA DE ALINEAMIENTO	3	8	0	2	1	2	2	14	42	NC

Tabla 19 Evaluación del nivel de criticidad del Feeder (sistemas y sub sistemas).
(Fuente: Elaboración propia)

<i>SISTEMA</i>	<i>SUBSISTEMA</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>Impacto Seg. Y Perso.</i>	<i>Imp.acto Amb.</i>	<i>Nivel. Prod.</i>	<i>TPPR</i>	<i>Impacto. Prod.</i>	<i>Impacto. Mantto</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>PUNTAJE</i>	<i>CRITICIDAD</i>
<i>CHUTES</i>	ESTRUCTURA	6	5	0	1	1	2	2	9	54	SC
	LINERS	6	5	0	1	3	2	4	15	90	SC

Tabla 20 Evaluación del nivel de criticidad de los chutes (sistemas y sub sistemas).
(Fuente: Elaboración propia)

<i>SISTEMA</i>	<i>SUBSISTEMA</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>Impacto Seg. Y Perso.</i>	<i>Imp.acto Amb.</i>	<i>Nivel. Prod.</i>	<i>TPPR</i>	<i>Impacto. Prod.</i>	<i>Impacto. Mantto</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>PUNTAJE</i>	<i>CRITICIDAD</i>
<i>TOLVAS</i>	ESTRUCTURA	6	5	0	1	1	2	2	9	54	SC

Tabla 21 Evaluación del nivel de criticidad de las Tolvas (sistemas y sub sistemas).
(Fuente: Elaboración propia)

Gráfico N° 05: Nivel de Criticidad de cada Subsistema

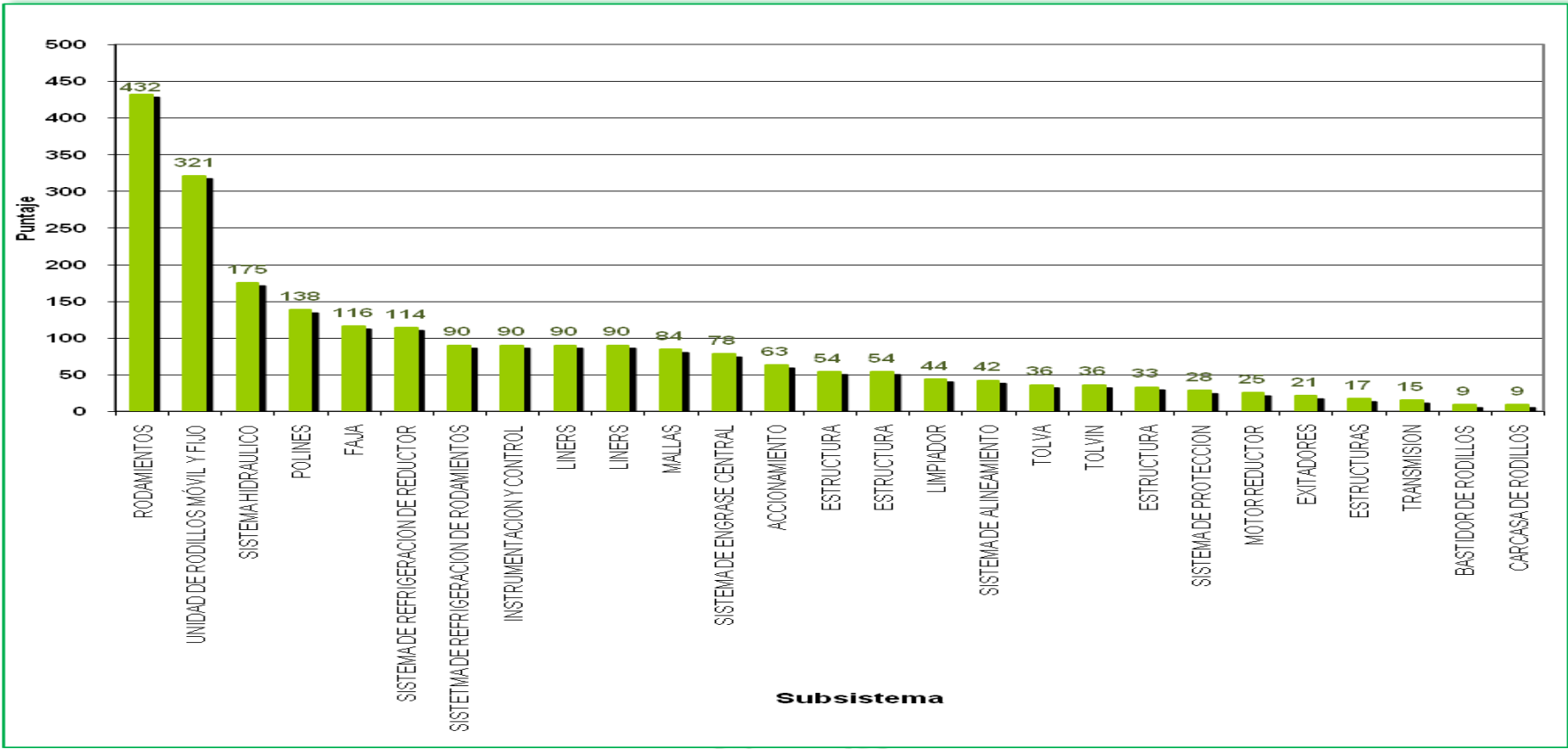


Figura 21 Gráfico de barras - Subsistemas vs. Nivel de Criticidad (Chancado terciario).
(Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO VII

DESCRIPCIÓN DE CADA NIVEL DE DETALLE

7.1 Datos generales del HPGR

EQUIPO	Chancadora Terciaria
Tipo	HPGR
Marca	Polysius
Modelo	PM-M Polycom 24/17-8
Versión	
Año de Fabricación	2014
N° de Activo	C-3230-CR-0x

MOTOR	Motor eléctrico
Marca	ABB
Modelo	NX2010
N° de Serie	58774312
Potencia	2500 KW 4000hp
Corriente	410 Amp
Voltaje	4160 Vac

Tabla 22 Datos generales del HPGR.

(Fuente: Elaboración propia)

7.2 Datos de los rodillos

SISTEMA	Rodillos Fijo y móvil
Tipo	Con insertos de carburo de tungsteno
Marca	Polysius
Modelo	MI42D
Versión	2.4 m
Año de Fabricación	2014
N° de Serie	56TY674

Tabla 23 Datos generales de los rodillos.

Fuente: Elaboración propia

7.3 *Objetivos y Políticas*

De Seguridad
No retirar las guardas durante la operación del equipo.
Usar el equipo de protección personal (tapones de oídos, casco, guantes, zapatos y lentes de seguridad).
No abrir las compuertas de inspección durante la operación del equipo.
De Medio Ambiente
Uso de extractores de polvo para minimizar la contaminación.
Evitar derrames de aceite y/o grasas.
Mantener controlado el nivel de ruido del área.
De Producción
Procesar un promedio de 3000 Ton/hora (por HPGR)
De Mantenimiento
Señalizar las áreas en donde se realicen trabajos de mantenimiento.
Cumplir la normativa relacionada con cargas suspendidas.
Hacer la inspección de herramientas y equipos.
De Logística
Contar con los repuestos e insumos a tiempo.

Tabla 24 Política y Objetivos de la Empresa.
(Fuente: Elaboración propia)

7.4 *Personal de Operación*

Cargo	Técnico II – Operador de Chancado
Educación	5to de secundaria.
Capacitación	Conocimiento de operación de plantas de chancado
Experiencia	2 años
Turnos	12 horas (4 x 3)

Tabla 25 Características del Personal de operaciones
(Fuente: Elaboración propia)

7.5 Personal de Mantenimiento

Cargo	Técnico III - Mecánico
Educación	Técnica
Capacitación	Mantenimiento de Maquinaria de Planta
Experiencia	3 años
Turnos	12 horas (4 x 3)

Tabla 26 Características del Personal Mecánico
(Fuente: Elaboración propia)

7.6 Personal de Mantenimiento

Cargo	Técnico III – Eléctrico Instrumentación
Educación	Técnica
Capacitación	Mantenimiento eléctrico e instrumentación de Planta
Experiencia	3 años
Turnos	12 horas (4 x 3)

Tabla 27 Características del Personal Eléctrico Instrumentación
(Fuente: Elaboración propia)

7.7 Condiciones de Operación

Altitud	2600 m.s.n.m.
Temp. amb. max. y min.	26 °C a - 15 °C
Neblina	NO
Lluvia	Enero a marzo
Humedad	
Hielo	No

Tabla 28 Condiciones de operación.
(Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO VIII

ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE LA FALLA

8.1 Funciones, fallas funcionales, modos y efecto de fallas – Unidad de Rodillos Móvil y Fijo.

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)																																																										
1	Triturar el mineral por presión desde un tamaño inicial de 46 mm hasta 10 mm o menos, manteniendo una capacidad promedio de mineral entre 2500 y 3000 ton/h.	1.A	Producto final mayor a 10 mm	1.A.1	Desgaste de los rodillos	<p>Falla evidente: Presión alta de ajuste de rodillos y tamaño de mineral a la salida mayor a 30 mm</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>48 h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">480,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia no operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Costo de Materiales</td> <td>Rodamientos.</td> <td>360,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rodillos nuevos</td> <td>300,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>10 Técnicos III Mecánicos</td> <td>100 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Servicio de armado</td> <td>50,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros servicios</td> <td>30,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>35 h</td> <td>35 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>700,000</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia no operacional</td> <td colspan="2">1,443,500 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencia Operacional				Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	-----	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	-----	Consecuencia Operacional	480,000 \$		Consecuencia no operacional						Real	Ideal	Costo de Materiales	Rodamientos.	360,000 \$		Rodillos nuevos	300,000 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	10 Técnicos III Mecánicos	100 \$/h	10 \$/h	Servicio de armado	50,000 \$		Otros servicios	30,000 \$		Tiempo de Reparación		35 h	35 h	Impacto en la Producción (IP)		700,000	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional	1,443,500 \$		
Consecuencia Operacional																																																																
	Real	Ideal																																																														
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																														
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	-----																																																														
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																														
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	-----																																																														
Consecuencia Operacional	480,000 \$																																																															
Consecuencia no operacional																																																																
		Real	Ideal																																																													
Costo de Materiales	Rodamientos.	360,000 \$																																																														
	Rodillos nuevos	300,000 \$																																																														
Costo de Mano de Obra (CMO)	10 Técnicos III Mecánicos	100 \$/h	10 \$/h																																																													
	Servicio de armado	50,000 \$																																																														
	Otros servicios	30,000 \$																																																														
Tiempo de Reparación		35 h	35 h																																																													
Impacto en la Producción (IP)		700,000	20,000 \$/h																																																													
Consecuencia no operacional	1,443,500 \$																																																															

Tabla 29 Desgaste de Rodillos

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)																																																				
1	Triturar el mineral por presión desde un tamaño inicial de 46 mm hasta 10 mm o menos, manteniendo una capacidad promedio de mineral entre 2500 y 3000 ton/h.	1.A.	Producto final mayor a 10 mm	1.A.2	Presión insuficiente del sistema hidráulico por contaminación.	<p>Falla evidente: Visualizado por el operador en Cuarto de Control, como una alarma de baja presión.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 hora</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td>10,000 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia no operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Costo de Materiales</td> <td>Válvulas Hidráulicas</td> <td>5,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>10 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>2h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000 \$</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia no operacional</td> <td></td> <td>45,060 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencia Operacional				Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$	-----	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	-----	Consecuencia Operacional	10,000 \$		Consecuencia no operacional						Real	Ideal	Costo de Materiales	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h	1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		2h	-----	Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		45,060 \$	
Consecuencia Operacional																																																										
	Real	Ideal																																																								
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																								
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$	-----																																																								
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3000 ton/h.																																																								
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	-----																																																								
Consecuencia Operacional	10,000 \$																																																									
Consecuencia no operacional																																																										
		Real	Ideal																																																							
Costo de Materiales	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$																																																								
Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h																																																							
	1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h																																																							
Tiempo de Reparación		2h	-----																																																							
Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$	20,000 \$/h																																																							
Consecuencia no operacional		45,060 \$																																																								

Tabla 30 Presión insuficiente del sistema hidráulico por contaminación.

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																								
1	Triturar el mineral por presión desde un tamaño inicial de 46 mm hasta 10 mm o menos, manteniendo una capacidad promedio de mineral entre 2500 y 3000 ton/h.	1.B	Deja de pasar carga totalmente.	1.B.1	Activación del detector de metales.	<p><i>Falla evidente:</i> Visualizado por el operador en Cuarto de Control, como una alarma de detector de metales.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>3 Técnico II Chancado</td> <td>24 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>10,012 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguna.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)	100%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	0	3,000 ton/h.	3 Técnico II Chancado	24 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	-----	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>10,012 \$</i>	
				<i>Consecuencia Operacional</i>																										
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)	100%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	0	3,000 ton/h.																												
3 Técnico II Chancado	24 \$/h	8 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	-----																												
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>10,012 \$</i>																													
1.B.2	Detención del alimentador	<p><i>Falla evidente:</i> Visualizado por el operador en Cuarto de Control, alimentador detenido.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>3 Técnico II Chancado (Inspección del motivo de la detención activación de Pull Cord, desalineamiento, faja rota, baja velocidad, trip de motor, etc).</td> <td>24 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 horas</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>10,012 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguna.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	100%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	0	3,000 ton/h.	3 Técnico II Chancado (Inspección del motivo de la detención activación de Pull Cord, desalineamiento, faja rota, baja velocidad, trip de motor, etc).	24 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 horas	-----	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>10,012 \$</i>					
<i>Consecuencia Operacional</i>																														
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto	100%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	0	3,000 ton/h.																												
3 Técnico II Chancado (Inspección del motivo de la detención activación de Pull Cord, desalineamiento, faja rota, baja velocidad, trip de motor, etc).	24 \$/h	8 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 horas	-----																												
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>10,012 \$</i>																													

Tabla 31 Activación de detector de Metales / Detención del Alimentador.

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																								
1	Triturar el mineral por presión desde un tamaño inicial de 46 mm hasta 10 mm o menos, manteniendo una capacidad promedio de mineral entre 2500 y 3000 ton/h.	1.C	Pasa menos de 3000 ton/h	1.C.1	Acumulación de carga húmeda en chute de alimentación	<p><i>Falla evidente:</i> El operador visualiza disminución de carga por las ventanas de inspección.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>34%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2000 ton/h.</td> <td>3000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>2 Técnico II Chancado (limpieza con lanzas de aire comprimido)</td> <td>16 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2">3,408 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguna.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	34%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	2000 ton/h.	3000 ton/h.	2 Técnico II Chancado (limpieza con lanzas de aire comprimido)	16 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	-----	<i>Consecuencia Operacional</i>	3,408 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																														
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto	34%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	2000 ton/h.	3000 ton/h.																												
2 Técnico II Chancado (limpieza con lanzas de aire comprimido)	16 \$/h	8 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	-----																												
<i>Consecuencia Operacional</i>	3,408 \$																													

Tabla 32 Activación de detector de Metales / Detención del Alimentador.

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>		
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.A	Presión mayor a 165 bar.	2.A.1	Mal funcionamiento de válvulas reguladoras de presión	<p><i>Falla evidente</i> Visualizado por el operador en Cuarto de Control, señal de alta presión en el sistema de supervisión e inspección visual de los manómetros.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p>		
<i>Consecuencia Operacional</i>								
						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	
Disminuye la calidad del producto						50%	100%	
Impacto en la producción por HPGR						20000 \$/h	20000 \$/h	
Reduce el tonelaje a						1,500 ton/h	3,000 ton/h.	
Tiempo máximo permitido en estas condiciones						1 h	0 hora	
<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>10,000 \$</i>		
<i>Consecuencia No Operacional</i>								
						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	
<i>Costo de Materiales</i>						Válvulas Hidráulicas	5,000 \$	
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>						2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h
						1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h
<i>Tiempo de Reparación</i>						1 h	-----	
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>						20,000 \$/h	20,000 \$/h	
<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>25,030 \$</i>		

Tabla 33 Mal Funcionamiento de válvulas reguladoras de Presión

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																								
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.A.	Presión mayor a 165 bar.	2.A.2	Problemas en la lógica de control	<p>Falla evidente Válvulas no responden desde el sistema de control automático, en campo todo ok.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>20%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,400 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>1 Ingeniero de Control</td> <td>13 \$/h</td> <td>13 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>0 hora</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">4,013 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Consecuencia no operacional: Ninguna.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	20%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.	1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	0 hora	Consecuencia Operacional	4,013 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																														
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto	20%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.																												
1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	0 hora																												
Consecuencia Operacional	4,013 \$																													

Tabla 34 Problemas en la lógica de Control

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																					
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.A.	Presión mayor a 165 bar.	2.A.3	Mala calibración de los topes	<p>Falla evidente: Por inspección visual del Mecánico de los manómetros. Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td>10,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia No Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Costo de Materiales</td> <td>----</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Técnico III Instrumentación (1 hora)</td> <td>10 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>2 h</td> <td>2 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td>40,060 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Desgaste prematuro de los rodillos y posible rotura de studs. Requiere regulación de topes mecánicos.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	Consecuencia Operacional		10,000 \$	<i>Consecuencia No Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Costo de Materiales	----	---	---	Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h		1 Técnico III Instrumentación (1 hora)	10 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		2 h	2 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		40,060 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																											
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																									
Disminuye la calidad del producto	50%	100%																																																									
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20000 \$/h																																																									
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h	3,000 ton/h.																																																									
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																																																									
Consecuencia Operacional		10,000 \$																																																									
<i>Consecuencia No Operacional</i>																																																											
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																								
Costo de Materiales	----	---	---																																																								
Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h																																																								
	1 Técnico III Instrumentación (1 hora)	10 \$/h	10 \$/h																																																								
Tiempo de Reparación		2 h	2 h																																																								
Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																								
Consecuencia no operacional		40,060 \$																																																									

Tabla 35 Mala calibración de Topes

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																								
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.A.	Presión mayor a 165 bar.	2.A.4	Alimentación desigual de material	<p>Falla evidente: Inspección visual de los manómetros.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>2 Técnico II Chancado (Limpieza con aire comprimido.)</td> <td>16 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">20,016 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Consecuencia no operacional: Ninguno.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	0%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.	2 Técnico II Chancado (Limpieza con aire comprimido.)	16 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	Consecuencia Operacional	20,016 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																														
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto en	0%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.																												
2 Técnico II Chancado (Limpieza con aire comprimido.)	16 \$/h	8 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																												
Consecuencia Operacional	20,016 \$																													

Tabla 36 Alimentación desigual de material.

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	COD	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																									
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.B	Presión menor a 150 bar.	2.B.1	Falla de válvulas reguladoras de presión	<p><i>Falla No evidente:</i> Inspección visual de los manómetros. <i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 hora</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>10,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia No Operacional</i></th> </tr> <tr> <th><i>Costo de Materiales</i></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Válvulas Hidráulicas</td> <td>5,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <th><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></th> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Técnico III e Eléctrico Instrumentación</td> <td>10 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"><i>25,030 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 hora	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>	<i>Consecuencia No Operacional</i>				<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>		Válvulas Hidráulicas	5,000 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>					2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h		1 Técnico III e Eléctrico Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	1 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>25,030 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																															
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																													
Disminuye la calidad del producto	50%	100%																																																													
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																													
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																													
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 hora																																																													
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>																																																													
<i>Consecuencia No Operacional</i>																																																															
<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																												
	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$																																																													
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>																																																															
	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h																																																												
	1 Técnico III e Eléctrico Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h																																																												
<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	1 h																																																												
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																												
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>25,030 \$</i>																																																													

Tabla 37 Falla de válvula Reguladora de Presión
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																								
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.B	Presión menor a 150 bar.	2.B.2	Problemas en la lógica de control	<p><i>Falla evidente</i> Válvulas no responden desde el sistema de control automático, en campo todo ok.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>20%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>1 Ingeniero de Control</td> <td>13 \$/h</td> <td>13 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>4,013 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguna.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	20%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>4,013 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																														
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto	20%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																												
1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																												
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>4,013 \$</i>																													

Tabla 38 Problemas en la lógica de control
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																																																												
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.B	Presión menor a 150 bar.	2.B.3	Filtros saturados	<p>Falla evidente: Visualizado por el operador en Cuarto de Control, como una alarma de baja presión.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th colspan="2">Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td colspan="2">100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td colspan="2">40,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td colspan="2">3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 hora</td> <td colspan="2">0 horas</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">10,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia no operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Costo de Materiales</td> <td>Filtros de aceite hidráulico.</td> <td>200 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>2 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td></td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>-----</td> <td>40,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td colspan="2">20,220 \$</td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencia Operacional					Real	Ideal		Disminuye la calidad del producto en	50%	100%		Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	40,000 \$/h		Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.		Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	0 horas		Consecuencia Operacional		10,000 \$		Consecuencia no operacional						Real	Ideal	Costo de Materiales	Filtros de aceite hidráulico.	200 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	20 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación			1 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$				-----	40,000 \$/h	Consecuencia no operacional		20,220 \$	
Consecuencia Operacional																																																																		
	Real	Ideal																																																																
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																																
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	40,000 \$/h																																																																
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																																
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	0 horas																																																																
Consecuencia Operacional		10,000 \$																																																																
Consecuencia no operacional																																																																		
		Real	Ideal																																																															
Costo de Materiales	Filtros de aceite hidráulico.	200 \$																																																																
Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	20 \$/h	10 \$/h																																																															
Tiempo de Reparación			1 h																																																															
Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$																																																																
		-----	40,000 \$/h																																																															
Consecuencia no operacional		20,220 \$																																																																

Tabla 39 Filtros Saturados
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																	
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.B	Presión menor a 150 bar.	2.B.4	Acumuladores con insuficiente carga de nitrógeno	<p>Falla evidente: Por inspección visual de los manómetros.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 hora</td> <td>1 horas</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>10,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Nitrógeno en Gas</td> <td>300 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>3 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).</td> <td>30 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"><i>20,330 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	1 horas	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Nitrógeno en Gas	300 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	30 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	1 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>20,330 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																							
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																					
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																					
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																					
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																					
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	1 horas																																																					
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>																																																					
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																							
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																				
<i>Costo de Materiales</i>	Nitrógeno en Gas	300 \$																																																					
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	30 \$/h	10 \$/h																																																				
<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	1 h																																																				
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																				
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>20,330 \$</i>																																																					

Tabla 40 Acumuladores con insuficiente carga de nitrógeno
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																				
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.B	Presión menor a 150 bar.	2.B.5	Fuga de aceite en el sistema Hidráulico	<p><i>Falla evidente:</i> Por inspección visual de los manómetros.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> Derrame de aceite, en zona contenida.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 h</td> <td>0.5 h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>5,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Aceite hidráulico</td> <td>4,500 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>200 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>4 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).</td> <td>40 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>2 h</td> <td>2 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"></td> <td><i>44,780 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	0.5 h	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>5,000 \$</i>		<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Aceite hidráulico	4,500 \$		Accesorios	200 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	4 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	40 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>			<i>44,780 \$</i>
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																										
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																								
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																								
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																								
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																								
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	0.5 h																																																								
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>5,000 \$</i>																																																									
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																										
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																							
<i>Costo de Materiales</i>	Aceite hidráulico	4,500 \$																																																								
	Accesorios	200 \$																																																								
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	4 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	40 \$/h	10 \$/h																																																							
<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h																																																							
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																							
<i>Consecuencia no operacional</i>			<i>44,780 \$</i>																																																							

Tabla 41 Fuga de aceite en el sistema hidráulico

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																							
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.C	Sin presión de trituración.	2.C.1	bomba hidráulica con caudal insuficiente	<p>Falla evidente: Inspección visual de los manómetros. Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 h</td> <td>0.5 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td>5,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Costo de Materiales</td> <td>Bomba Hidráulica</td> <td>8,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>300 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>2 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td>Cambio de bomba, entrando la Stand by.</td> <td>0.75 h</td> <td>0.75 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td>23,340 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	0.5 h	Consecuencia Operacional		5,000 \$	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Costo de Materiales	Bomba Hidráulica	8,000 \$		Accesorios	300 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	20 \$/h	10 \$/h	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación	Cambio de bomba, entrando la Stand by.	0.75 h	0.75 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		23,340 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																													
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																											
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																											
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																											
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	0.5 h																																																											
Consecuencia Operacional		5,000 \$																																																											
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																													
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																										
Costo de Materiales	Bomba Hidráulica	8,000 \$																																																											
	Accesorios	300 \$																																																											
Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos (Inspección y reparación del sistema).	20 \$/h	10 \$/h																																																										
	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h																																																										
Tiempo de Reparación	Cambio de bomba, entrando la Stand by.	0.75 h	0.75 h																																																										
Impacto en la Producción (IP)		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																										
Consecuencia no operacional		23,340 \$																																																											

Tabla 42 Bomba Hidráulica con caudal insuficiente

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																				
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.C	Sin presión de trituración.	2.C.2	Fuga de aceite Hidráulico	<p><i>Falla evidente:</i> Visualizado por el operador en Cuarto de Control, como una alarma de baja presión.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> Derrame de aceite, en zona contenida.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>40,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 h</td> <td>0.5 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>5,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Aceite hidráulico</td> <td>4,500 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>200 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>4 Técnicos III Mecánicos Inspección y reparación del sistema</td> <td>40 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>2 h</td> <td>2 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td><i>44,780 \$</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	40,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	0.5 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>5,000 \$</i>	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Aceite hidráulico	4,500 \$		Accesorios	200 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	4 Técnicos III Mecánicos Inspección y reparación del sistema	40 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>44,780 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																										
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																								
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																								
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	40,000 \$/h																																																								
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																								
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	0.5 h																																																								
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>5,000 \$</i>																																																								
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																										
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																							
<i>Costo de Materiales</i>	Aceite hidráulico	4,500 \$																																																								
	Accesorios	200 \$																																																								
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	4 Técnicos III Mecánicos Inspección y reparación del sistema	40 \$/h	10 \$/h																																																							
<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h																																																							
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																							
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>44,780 \$</i>																																																								

Tabla 43 Fuga de Aceite hidráulico

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																					
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.C	Sin presión de trituración.	2.C.3	Válvulas limitadoras de presión activadas	<p><i>Falla evidente:</i> Visualizado por el operador en Cuarto de Control, debido a que válvulas limitadoras están activadas y no cierran.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h</td> <td>3,000 ton/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>10,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia No Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Válvulas Hidráulicas</td> <td>5,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>10 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>1 h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td><i>25,030 \$</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h	3,000 ton/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>	<i>Consecuencia No Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h		1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	-----	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>25,030 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																											
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																									
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																									
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																									
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h	3,000 ton/h																																																									
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																																																									
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>																																																									
<i>Consecuencia No Operacional</i>																																																											
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																								
<i>Costo de Materiales</i>	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$																																																									
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h																																																								
	1 Técnico III Eléctrico e Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h																																																								
<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	-----																																																								
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																								
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>25,030 \$</i>																																																									

Tabla 44 Válvulas limitadoras de presión activadas
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																	
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75°C en los rodamientos de los rodillos.	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.1	Falla del sensor de temperatura	<p>Falla evidente: Visualizado por el operador en Cuarto de Control, debido a que aparece en la pantalla.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>----</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>----</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>----</td> <td>0 horas</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td>0 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Operaciones monitorea en campo haciendo uso de pirómetro.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Costo de Materiales</td> <td>Sensor de temperatura RTD.</td> <td>325 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td>El cambio del sensor se realiza durante una parada programada o de oportunidad</td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td>20,345 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	0%	100%	Impacto en la producción por HPGR	----	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	----	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	----	0 horas	Consecuencia Operacional		0 \$	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Costo de Materiales	Sensor de temperatura RTD.	325 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		1 h	1 h	Impacto en la Producción (IP)	El cambio del sensor se realiza durante una parada programada o de oportunidad	20,000\$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		20,345 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																							
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																					
Disminuye la calidad del producto en	0%	100%																																																					
Impacto en la producción por HPGR	----	20,000 \$/h																																																					
Reduce el tonelaje a	----	3,000 ton/h.																																																					
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	----	0 horas																																																					
Consecuencia Operacional		0 \$																																																					
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																							
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																				
Costo de Materiales	Sensor de temperatura RTD.	325 \$																																																					
Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h																																																				
Tiempo de Reparación		1 h	1 h																																																				
Impacto en la Producción (IP)	El cambio del sensor se realiza durante una parada programada o de oportunidad	20,000\$/h	20,000 \$/h																																																				
Consecuencia no operacional		20,345 \$																																																					

Tabla 45 Falla de Sensor temperatura
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																								
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75°C en los rodamientos de los rodillos.	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.2	Lubricación excesiva	<p>Falla evidente: Visualizado por el operador en Cuarto de Control, por conteo de número de pulsos de lubricación.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td></td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td></td> <td>0 \$/h</td> <td>40,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td></td> <td>3,000 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td></td> <td>0 hora</td> <td>0 horas</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">0 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Costo de Materiales</td> <td>---</td> <td>----</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>1 Técnicos III Mecánicos (regulación de pulsos de lubricación).</td> <td>10 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>-----</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td colspan="2">10 \$</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en		0%	100%	Impacto en la producción por HPGR		0 \$/h	40,000 \$/h	Reduce el tonelaje a		3,000 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones		0 hora	0 horas	Consecuencia Operacional		0 \$		<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Costo de Materiales	---	----		Costo de Mano de Obra (CMO)	1 Técnicos III Mecánicos (regulación de pulsos de lubricación).	10 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		1 h	1 h	Impacto en la Producción (IP)		-----	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		10 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																														
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																											
Disminuye la calidad del producto en		0%	100%																																																											
Impacto en la producción por HPGR		0 \$/h	40,000 \$/h																																																											
Reduce el tonelaje a		3,000 ton/h.	3,000 ton/h.																																																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones		0 hora	0 horas																																																											
Consecuencia Operacional		0 \$																																																												
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																														
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																											
Costo de Materiales	---	----																																																												
Costo de Mano de Obra (CMO)	1 Técnicos III Mecánicos (regulación de pulsos de lubricación).	10 \$/h	10 \$/h																																																											
Tiempo de Reparación		1 h	1 h																																																											
Impacto en la Producción (IP)		-----	20,000 \$/h																																																											
Consecuencia no operacional		10 \$																																																												

Tabla 46 Lubricación Excesiva
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																																																				
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75°C en los rodamientos de los rodillos.	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.3	Lubricación insuficiente por falla de la bomba de grasa	<p><u>Falla No evidente:</u> Debido a que no es accesible para su inspección visual.</p> <p><u>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</u> No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 hora</td> <td>1 hora</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">10,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia no operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Costo de Materiales</td> <td>Bomba de grasa.</td> <td>500 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>100 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>0.75 h</td> <td>0.75 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia no operacional</td> <td></td> <td colspan="2">15,615 \$</td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencia Operacional				Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	1 hora	Consecuencia Operacional	10,000 \$		Consecuencia no operacional						Real	Ideal	Costo de Materiales	Bomba de grasa.	500 \$		Accesorios	100 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		0.75 h	0.75 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		15,615 \$	
Consecuencia Operacional																																																										
	Real	Ideal																																																								
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																								
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																								
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																								
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 hora	1 hora																																																								
Consecuencia Operacional	10,000 \$																																																									
Consecuencia no operacional																																																										
		Real	Ideal																																																							
Costo de Materiales	Bomba de grasa.	500 \$																																																								
	Accesorios	100 \$																																																								
Costo de Mano de Obra (CMO)	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h																																																							
Tiempo de Reparación		0.75 h	0.75 h																																																							
Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																							
Consecuencia no operacional		15,615 \$																																																								

Tabla 47 Lubricación Insuficiente

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i><u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u></i>																																																							
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75°C en los rodamientos de los rodillos.	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.4	Contaminación del lubricante.	<p><i>Falla evidente:</i> Sólo con análisis de aceite e inspección de sellos.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>48 h</td> <td>48 h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2">480,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Grasa.</td> <td>8,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sellos</td> <td>2,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>300 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>4 Técnicos III Mecánicos</td> <td>40 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>4 h</td> <td>4 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td></td> <td colspan="2">90,460 \$</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	48 h	<i>Consecuencia Operacional</i>	480,000 \$		<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Grasa.	8,000 \$		Sellos	2,000 \$		Accesorios	300 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	4 Técnicos III Mecánicos	40 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		4 h	4 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		90,460 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																													
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																											
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																											
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																											
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	48 h																																																											
<i>Consecuencia Operacional</i>	480,000 \$																																																												
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																													
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																										
<i>Costo de Materiales</i>	Grasa.	8,000 \$																																																											
	Sellos	2,000 \$																																																											
	Accesorios	300 \$																																																											
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	4 Técnicos III Mecánicos	40 \$/h	10 \$/h																																																										
<i>Tiempo de Reparación</i>		4 h	4 h																																																										
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																										
<i>Consecuencia no operacional</i>		90,460 \$																																																											

Tabla 48 Contaminación del lubricante
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>		
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75°C en los rodamientos de los rodillos.	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.5	Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas	<p><i>Falla evidente:</i> solo por análisis de grasa.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p>		
<i>Consecuencia Operacional</i>							<i>Real</i>	<i>Ideal</i>
Disminuye la calidad del producto en						50%	100%	
Impacto en la producción por HPGR						20,000 \$/h	20,000 \$/h	
Reduce el tonelaje a						1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	
Tiempo máximo permitido en estas condiciones (haciendo flashing, reduciendo carga y con enfriamiento forzado)						48 h	48 h	
<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>480,000 \$</i>		
<i>Consecuencia no operacional</i>							<i>Real</i>	<i>Ideal</i>
<i>Costo de Materiales</i>								
Rodamientos.						360,000 \$		
Rodillos nuevos						300,000 \$		
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>								
10 Técnicos III						100 \$/h	10 \$/h	
Mecánicos								
Servicio de armado						50,000 \$		
Otros servicios						30,000 \$		
<i>Tiempo de Reparación</i>						35 h	35 h	
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>						20,000 \$/h	20,000 \$/h	
<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>1,443,500 \$</i>		

Tabla 49 Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																							
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75°C en los rodamientos de los rodillos.	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.6	Falla en el sistema de refrigeración	<p>Falla evidente: Visualizado por el operador en Cuarto de Control, mediante el incremento de temperatura.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>20%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,400 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>48 h</td> <td>48 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td>192,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Costo de Materiales</td> <td>Filtros de agua</td> <td>300 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Limpieza química del sistema</td> <td>6,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>200 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>4 Técnicos III Mecánicos</td> <td>40 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>3 h</td> <td>3 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td>66,620 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	20%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	48 h	Consecuencia Operacional		192,000 \$	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Costo de Materiales	Filtros de agua	300 \$		Limpieza química del sistema	6,000 \$		Accesorios	200 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	4 Técnicos III Mecánicos	40 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		3 h	3 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		66,620 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																													
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																											
Disminuye la calidad del producto en	20%	100%																																																											
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																											
Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.																																																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	48 h																																																											
Consecuencia Operacional		192,000 \$																																																											
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																													
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																										
Costo de Materiales	Filtros de agua	300 \$																																																											
	Limpieza química del sistema	6,000 \$																																																											
	Accesorios	200 \$																																																											
Costo de Mano de Obra (CMO)	4 Técnicos III Mecánicos	40 \$/h	10 \$/h																																																										
Tiempo de Reparación		3 h	3 h																																																										
Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																										
Consecuencia no operacional		66,620 \$																																																											

Tabla 50 Falla en el sistema de refrigeración
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																									
4	Operar durante un periodo no menor a 6 meses antes de necesitar cambio de rodillos.	4.A	Rodillos necesitan cambio antes de 6 meses.	4.A.1	Mala selección del material de los rodillos	<p><i>Falla No evidente:</i> Solo detectable por medición de ratio de desgaste de studs, deteniendo el equipo.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>3,3%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,900 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>168 h</td> <td>7 días</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>110,880 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th><i>Costo de Materiales</i></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>----</td> <td>--</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>10 Técnicos III Mecánicos (para realizar mantenimiento predictivo)</td> <td>100 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2h/3días</td> <td>2h/3días</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"><i>120,600 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	3,3%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	2,900 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	168 h	7 días	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>110,880 \$</i>	<i>Consecuencia no operacional</i>				<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>		----	--		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>					10 Técnicos III Mecánicos (para realizar mantenimiento predictivo)	100 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>						2h/3días	2h/3días	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>120,600 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																															
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																													
Disminuye la calidad del producto en	3,3%	100%																																																													
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																													
Reduce el tonelaje a	2,900 ton/h.	3,000 ton/h.																																																													
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	168 h	7 días																																																													
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>110,880 \$</i>																																																													
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																															
<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																												
	----	--																																																													
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>																																																															
	10 Técnicos III Mecánicos (para realizar mantenimiento predictivo)	100 \$/h	10 \$/h																																																												
<i>Tiempo de Reparación</i>																																																															
		2h/3días	2h/3días																																																												
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																												
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>120,600 \$</i>																																																													

Tabla 51 Mala selección del material de los rodillos
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																											
4	Operar durante un periodo no menor a 6 meses antes de necesitar cambio de rodillos.	4.A	Rodillos necesitan cambio antes de 6 meses.	4.A.2	Studs mal colocados	<p><i>Falla No evidente:</i> Solo mediante una inspección visual, deteniendo la carga de alimentación y aperturando compuertas.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td></td> <td>3,3%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td></td> <td>2,900 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td></td> <td>48 h</td> <td>48 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>31,680 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>10 Stud.</td> <td>50 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>300 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>3 Técnicos III Mecánicos</td> <td>30 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>2 h</td> <td>2 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"><i>40,410 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en		3,3%	100%	Impacto en la producción por HPGR		20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a		2,900 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones		48 h	48 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>31,680 \$</i>		<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	10 Stud.	50 \$		Accesorios	300 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>40,410 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																																	
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																														
Disminuye la calidad del producto en		3,3%	100%																																																														
Impacto en la producción por HPGR		20,000 \$/h	20,000\$/h																																																														
Reduce el tonelaje a		2,900 ton/h.	3,000 ton/h.																																																														
Tiempo máximo permitido en estas condiciones		48 h	48 h																																																														
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>31,680 \$</i>																																																															
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																																	
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																														
<i>Costo de Materiales</i>	10 Stud.	50 \$																																																															
	Accesorios	300 \$																																																															
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h																																																														
<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h																																																														
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																														
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>40,410 \$</i>																																																															

Tabla 52 Studs mal colocados
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																					
4	Operar durante un periodo no menor a 6 meses antes de necesitar cambio de rodillos.	4.A	Rodillos necesitan cambio antes de 6 meses.	4.A.3	Mineral de alimentación de mucha dureza.	<p><u>Falla evidente:</u> Alto amperaje de Motores, además de los análisis de dureza del mineral realizado por metalurgia en chancado primario, cada vez que se realiza cambio de frente de voladura de mineral.</p> <p><u>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente:</u> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>25%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,250 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>16 horas</td> <td>16 horas</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">80,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Consecuencia no operacional:</u> Ninguno.</p>	Consecuencia Operacional				Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto en	25%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	2,250 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	16 horas	16 horas	Consecuencia Operacional	80,000 \$	
Consecuencia Operacional																											
	Real	Ideal																									
Disminuye la calidad del producto en	25%	100%																									
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																									
Reduce el tonelaje a	2,250 ton/h.	3,000 ton/h.																									
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	16 horas	16 horas																									
Consecuencia Operacional	80,000 \$																										

Tabla 53 Mineral de alimentación de mucha dureza.

(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																													
4	Operar durante un periodo no menor a 6 meses antes de necesitar cambio de rodillos.	4.A	Rodillos necesitan cambio antes de 6 meses.	4.A.4	Paso de material inchancable.	<p><i>Falla evidente:</i> Elevado amperaje puntual en motores, la frecuencia de ocurrencia muy pequeña debido a que existe detectores de metales para evitarlo.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>3 Técnico II Chancado</td> <td>24 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0.5 h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>10,012 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Rodamientos.</td> <td>360,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rodillos nuevos</td> <td>300,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3"><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>10 Técnicos III Mecánicos</td> <td>100 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Servicio de armado</td> <td>50,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros servicios</td> <td>30,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>35 h</td> <td>35 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,0000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td></td> <td colspan="2"><i>1,443,500 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)	100%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	0	3,000 ton/h.	3 Técnico II Chancado	24 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	-----	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>10,012 \$</i>		<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Rodamientos.	360,000 \$		Rodillos nuevos	300,000 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	10 Técnicos III Mecánicos	100 \$/h	10 \$/h	Servicio de armado	50,000 \$		Otros servicios	30,000 \$		<i>Tiempo de Reparación</i>		35 h	35 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,0000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>1,443,500 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																																			
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																																	
Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)	100%	100%																																																																	
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																																	
Reduce el tonelaje a	0	3,000 ton/h.																																																																	
3 Técnico II Chancado	24 \$/h	8 \$/h																																																																	
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0.5 h	-----																																																																	
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>10,012 \$</i>																																																																		
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																																			
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																																
<i>Costo de Materiales</i>	Rodamientos.	360,000 \$																																																																	
	Rodillos nuevos	300,000 \$																																																																	
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	10 Técnicos III Mecánicos	100 \$/h	10 \$/h																																																																
	Servicio de armado	50,000 \$																																																																	
	Otros servicios	30,000 \$																																																																	
<i>Tiempo de Reparación</i>		35 h	35 h																																																																
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,0000\$/h	20,000 \$/h																																																																
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>1,443,500 \$</i>																																																																	

Tabla 54 Paso de material inchancable
(Fuente: Elaboración propia)

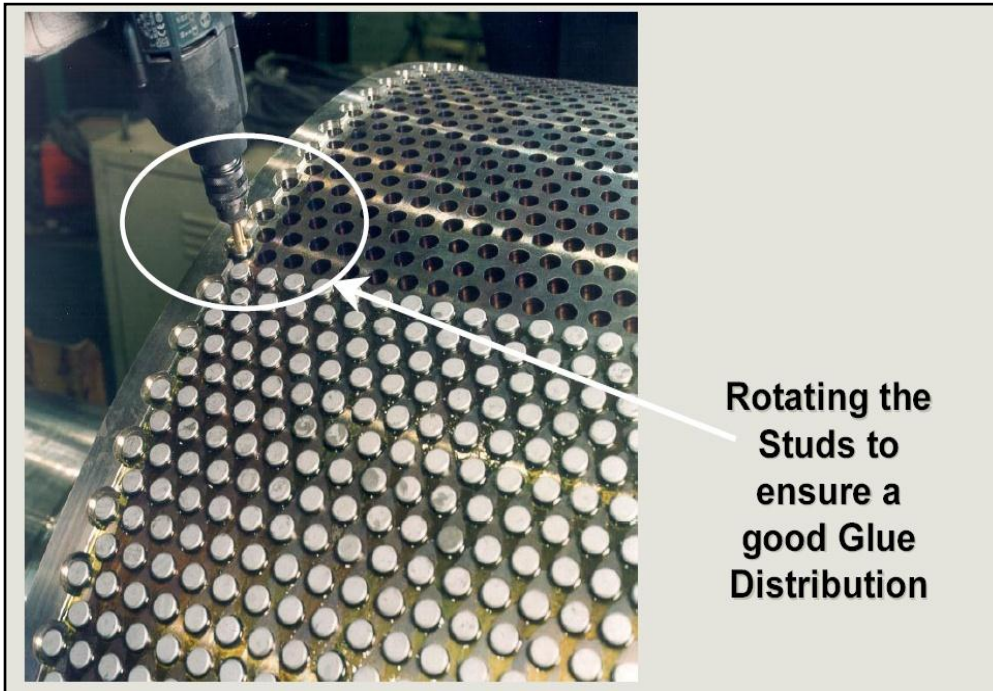


Figura 22 Montaje de Studs
(Fuente: Elaboración Propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																		
5	Conservar una distancia entre rodillos (GAP) entre 45 mm y 60 mm.	5. A	Distancia entre rodillos fuera del rango	5.A.1	Falla de la lógica de control	<p><i>Falla evidente:</i> Control de GAP no responde desde sala de control <i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>1 Ingeniero de Control</td> <td>13 \$/h</td> <td>13 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>10,013 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguno.</p>			<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,013 \$</i>																								
				<i>Consecuencia Operacional</i>																																																				
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																						
Disminuye la calidad del producto	50%	100%																																																						
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																						
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																						
1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h																																																						
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																																																						
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,013 \$</i>																																																						
5.A.2	Falla de los sensores de medición del GAP	<p><i>Falla No evidente:</i> Se requiere parada del equipo, para verificar estado del sensor <i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>4 horas</td> <td>0 días</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>40,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Sensores.</td> <td>800 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>200 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>3 h</td> <td>3 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td><i>61,060 \$</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	4 horas	0 días	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>40,000 \$</i>	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Sensores.	800 \$		Accesorios	200 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		3 h	3 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>61,060 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																								
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																						
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																						
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																																																						
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																						
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	4 horas	0 días																																																						
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>40,000 \$</i>																																																						
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																								
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																					
<i>Costo de Materiales</i>	Sensores.	800 \$																																																						
	Accesorios	200 \$																																																						
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h																																																					
<i>Tiempo de Reparación</i>		3 h	3 h																																																					
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																					
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>61,060 \$</i>																																																						

Tabla 55 Falla de lógica de control / Falla de sensores de medición de GAP

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																													
5	Conservar una distancia entre rodillos (GAP) entre 45 mm y 60 mm.	5. A	Distancia entre rodillos fuera del rango	5.A.3	Desgaste de los rodillos no uniforme.	<p><i>Falla evidente:</i> Se visualiza incremento de GAP en el Pomux, se detiene el proceso por calibración Zero Gap.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>4 horas</td> <td>0 días</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>40,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th><i>Costo de Materiales</i></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>----</td> <td>----</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td><i>40,040 \$</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	4 horas	0 días	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>40,000 \$</i>	<i>Consecuencia no operacional</i>				<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>		----	----		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>					2 Técnicos III Mecánicos	20 \$	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>							2 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>						20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>40,040 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																																			
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																																	
Disminuye la calidad del producto en	50%	100%																																																																	
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																																																																	
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																																	
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	4 horas	0 días																																																																	
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>40,000 \$</i>																																																																	
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																																			
<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																																
	----	----																																																																	
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>																																																																			
	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$	10 \$/h																																																																
<i>Tiempo de Reparación</i>																																																																			
			2 h																																																																
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>																																																																			
		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																																
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>40,040 \$</i>																																																																	

Tabla 56 Desgaste de los rodillos no uniforme
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																					
5	Conservar una distancia entre rodillos (GAP) entre 45 mm y 60 mm.	5. A	Distancia entre rodillos fuera del rango	5.A.4	Tamaño de mineral de alimentación demasiado grande.	<p><i>Falla evidente:</i> Si, monitoreado por el Split – online. Normalmente debido a problemas en chancadora secundaria y/o primaria.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>33%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,000 ton/h</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>12 h</td> <td>12 h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>79,200 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguno.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	33%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	2,000 ton/h	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	12 h	12 h	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>79,200 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																											
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																									
Disminuye la calidad del producto en	33%	100%																									
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																									
Reduce el tonelaje a	2,000 ton/h	3,000 ton/h.																									
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	12 h	12 h																									
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>79,200 \$</i>																										

Tabla 57 Tamaño de mineral de alimentación demasiado grande
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 23 Distancia entre rodillos
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																	
6	Girar a una velocidad entre 18 y 23 rpm.	6.A	Gira a velocidad fuera del rango	6.A.1	Falla en sensor de velocidad	<p><i>Falla evidente:</i> Monitoreado en el DCS, contrastando con un tacómetro, en caso de falla se puede poner bypass al sensor para chequeo en campo. <i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>10%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,700 ton/h</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td>2,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Sensor de velocidad</td> <td>800 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>3 h</td> <td>3 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td>60,860 \$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	10%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000\$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	2,700 ton/h	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		2,000 \$	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Sensor de velocidad	800 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		3 h	3 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		60,860 \$	
				<i>Consecuencia Operacional</i>																																																			
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																					
Disminuye la calidad del producto en	10%	100%																																																					
Impacto en la producción por HPGR	20,000\$/h	20,000\$/h																																																					
Reduce el tonelaje a	2,700 ton/h	3,000 ton/h.																																																					
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																																																					
<i>Consecuencia Operacional</i>		2,000 \$																																																					
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																							
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																				
<i>Costo de Materiales</i>	Sensor de velocidad	800 \$																																																					
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h																																																				
<i>Tiempo de Reparación</i>		3 h	3 h																																																				
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																				
<i>Consecuencia no operacional</i>		60,860 \$																																																					
				6.A.2	Problemas con el sistema de control de velocidad del DCS	<p><i>Falla evidente:</i> Si, se puede ver en línea los parámetros de control en el DCS <i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>20%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,400 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>1 Ingeniero de Control</td> <td>13 \$/h</td> <td>13 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>0 hora</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td>4,013 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguno.</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	20%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.	1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	0 hora	<i>Consecuencia Operacional</i>		4,013 \$																									
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																							
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																					
Disminuye la calidad del producto	20%	100%																																																					
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																					
Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.																																																					
1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h																																																					
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	0 hora																																																					
<i>Consecuencia Operacional</i>		4,013 \$																																																					

Tabla 58 Falla del sensor de velocidad / Problemas con el sistema de control de velocidad DSC

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																							
6	Girar a una velocidad entre 18 y 23 rpm.	6.A	Gira a velocidad fuera del rango	6.A.3	Problemas con el variador de velocidad del motor	<p><i>Falla evidente:</i> Problema con muy poca probabilidad de suceder, pero de ocurrir, se observa alarma en display del variador, deteniendo inmediatamente el proceso.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>0 h</td> <td>0 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>0,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Variador de velocidad ABB</td> <td>12,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>950 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Servicio de armado</td> <td>6,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>4 h</td> <td>4 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td><i>99,030 \$</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	0%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0 h	0 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>0,000 \$</i>	<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Variador de velocidad ABB	12,000 \$		Accesorios	950 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h	Servicio de armado	6,000 \$		<i>Tiempo de Reparación</i>		4 h	4 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>99,030 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																													
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																											
Disminuye la calidad del producto en	0%	100%																																																											
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																																																											
Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.																																																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0 h	0 h																																																											
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>0,000 \$</i>																																																											
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																													
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																										
<i>Costo de Materiales</i>	Variador de velocidad ABB	12,000 \$																																																											
	Accesorios	950 \$																																																											
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico e Instrumentación	20 \$/h	10 \$/h																																																										
	Servicio de armado	6,000 \$																																																											
<i>Tiempo de Reparación</i>		4 h	4 h																																																										
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																										
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>99,030 \$</i>																																																											

Tabla 59 Problemas con el variador de velocidad del motor
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																							
7	Consumo nominal de corriente entre 350 y 400 Amperios.	7.A.	Alto consumo de corriente	7.A.1	Dureza muy alta del mineral de alimentación	<p><i>Falla evidente:</i> Alto amperaje de Motores, además de los análisis de dureza del mineral realizado por metalurgia en chancado primario, cada vez que se realiza cambio de frente de voladura de mineral.</p> <p>Durante las paradas programadas, se realiza revisión del aislamiento del motor.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <p><i>No tiene consecuencias no operacionales</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>20%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,400 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>16 horas</td> <td>24 horas</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>80,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>			<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	20%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	16 horas	24 horas	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>80,000 \$</i>
				<i>Consecuencia Operacional</i>																									
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																											
Disminuye la calidad del producto en	20%	100%																											
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																											
Reduce el tonelaje a	2,400 ton/h.	3,000 ton/h.																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	16 horas	24 horas																											
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>80,000 \$</i>																											
7.A.2	Acumulación de mineral húmedo.	<p><i>Falla No evidente:</i> Es necesario detener el equipo e inspeccionar por las compuertas, o en el peor de los casos realizar limpieza con lanzas de aire.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0 ton/h.</td> <td>3000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>2 Técnico II Chancado (limpieza con lanzas de aire comprimido)</td> <td>16 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>20,016 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguna.</p>			<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	0%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3000 ton/h.	2 Técnico II Chancado (limpieza con lanzas de aire comprimido)	16 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>20,016 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																													
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																											
Disminuye la calidad del producto	0%	100%																											
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																											
Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3000 ton/h.																											
2 Técnico II Chancado (limpieza con lanzas de aire comprimido)	16 \$/h	8 \$/h																											
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																											
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>20,016 \$</i>																											

Tabla 60 Dureza muy alta del mineral de alimentación / Acumulación de mineral húmedo
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 24 Acumulación de mineral húmedo
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																										
7	Consumo nominal de corriente entre 350 y 400 Amperios.	7.B	Consumo bajo de corriente	7.B.1	Problemas con el variador	<p><i>Falla evidente:</i> si, Visualización de amperaje en sistema de control, mantenimiento debe de realizar verificación de CTs de Variador de velocidad.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td></td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td></td> <td>0 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td></td> <td>0 h</td> <td>0 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>0,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th><i>Costo de Materiales</i></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>-----</td> <td>----</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>2 Técnicos III Eléctrico</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>2 h</td> <td>2 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,0000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"><i>40,040 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>			<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en		100%	100%	Impacto en la producción por HPGR		20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a		0 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones		0 h	0 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>0,000 \$</i>		<i>Consecuencia no operacional</i>				<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>		-----	----		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico	20 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,0000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>40,040 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																																
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																													
Disminuye la calidad del producto en		100%	100%																																																													
Impacto en la producción por HPGR		20,000 \$/h	20,000\$/h																																																													
Reduce el tonelaje a		0 ton/h.	3,000 ton/h.																																																													
Tiempo máximo permitido en estas condiciones		0 h	0 h																																																													
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>0,000 \$</i>																																																														
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																																
<i>Costo de Materiales</i>		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																													
	-----	----																																																														
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Eléctrico	20 \$/h	10 \$/h																																																													
<i>Tiempo de Reparación</i>		2 h	2 h																																																													
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,0000 \$/h	20,000 \$/h																																																													
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>40,040 \$</i>																																																														

Tabla 61 Problemas con el variador
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>			
7	Consumo nominal de corriente entre 350 y 400 Amperios.	7.B	Consumo bajo de corriente	7.B.2	Rotura en el sistema de Transmisión.	<i>Falla evidente:</i> Si, por ruido excesivo en la transmisión.			
						<i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.			
						<i>Consecuencia Operacional</i>			
							<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	
						Disminuye la calidad del producto en	0%	100%	
						Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	
						Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.	
						Tiempo máximo permitido en estas condiciones	0 días	0 días	
						<i>Consecuencia Operacional</i>			
						<i>0,000 \$</i>			
						<i>Consecuencia no operacional</i>			
								<i>Real</i>	<i>Ideal</i>
						<i>Costo de Materiales</i>	cardán y acople hidrodinámico	60,000 \$	
							Accesorios	2,000 \$	
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h						
<i>Tiempo de Reparación</i>		4 h	4 h						
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h						
<i>Consecuencia no operacional</i>									
<i>142,120 \$</i>									

Tabla 62 Rotura en el sistema de transmisión
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u><i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i></u>																					
8	Vibración mayor a 4 mm/seg	8.A	Vibración excesiva.	8.A.1	Mineral de alimentación de mucha dureza.	<p><i>Falla evidente:</i> Alto amperaje de Motores, además de los análisis de dureza del mineral realizado por metalurgia en chancado primario, cada vez que se realiza cambio de frente de voladura de mineral.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>25%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,250 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>16 h</td> <td>16 h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>80,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguna</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	25%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	2,250 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	16 h	16 h	<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>80,000 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																											
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																									
Disminuye la calidad del producto en	25%	100%																									
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																									
Reduce el tonelaje a	2,250 ton/h.	3,000 ton/h.																									
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	16 h	16 h																									
<i>Consecuencia Operacional</i>	<i>80,000 \$</i>																										

Tabla 63 Mineral de Alimentación de mucha dureza

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>		
8	Vibración mayor a 4 mm/seg	8.A	Vibración excesiva.	8.A.2	Presencia de material inchancable.	<p><i>Falla evidente:</i> Elevado amperaje puntual en motores, la frecuencia de ocurrencia muy pequeña debido a que existe detectores de metales para evitarlo.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad y medio ambiente:</i> No.</p>		
<i>Consecuencia Operacional</i>							<i>Real</i>	<i>Ideal</i>
Disminuye la calidad del producto (Desviación de mineral a través del bypass)						100%	100%	
Impacto en la producción por HPGR						20,000 \$/h	20,000 \$/h	
Reduce el tonelaje a						0	3,000 ton/h.	
3 Técnico II Chancado						24 \$/h	8 \$/h	
Tiempo máximo permitido en estas condiciones						0.5 h	-----	
<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>10,012 \$</i>		
<i>Consecuencia no operacional</i>							<i>Real</i>	<i>Ideal</i>
<i>Costo de Materiales</i>								
Rodamientos.						360,000 \$		
Rodillos nuevos						300,000 \$		
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>								
10 Técnicos III Mecánicos						100 \$/h	10 \$/h	
Servicio de armado						50,000 \$		
Otros servicios						30,000 \$		
<i>Tiempo de Reparación</i>						35 h	35 h	
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>						20,000\$/h	20,000 \$/h	
<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>1,443,500 \$</i>		

Tabla 64 Presencia de material inchancable

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																																																														
8	Vibración mayor a 4 mm/seg	8.A	Vibración excesiva.	8.A.3	Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas	<p><u>Falla evidente:</u> solo por análisis de grasa.</p> <p><u>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente:</u> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>30%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>2,100 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>48 h</td> <td>48 h</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">288,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia no operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Costo de Materiales</td> <td>Rodamientos.</td> <td>360,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rodillos nuevos</td> <td>300,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>10 Técnicos III</td> <td>100 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Mecánicos</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Servicio de armado</td> <td>50,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otros servicios</td> <td>30,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>35 h</td> <td>35 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td colspan="2">1443,500 \$</td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencia Operacional				Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto en	30%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a	2,100 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	48 h	Consecuencia Operacional	288,000 \$		Consecuencia no operacional						Real	Ideal	Costo de Materiales	Rodamientos.	360,000 \$		Rodillos nuevos	300,000 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	10 Técnicos III	100 \$/h	10 \$/h	Mecánicos			Servicio de armado	50,000 \$			Otros servicios	30,000 \$		Tiempo de Reparación		35 h	35 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		1443,500 \$	
Consecuencia Operacional																																																																				
	Real	Ideal																																																																		
Disminuye la calidad del producto en	30%	100%																																																																		
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000\$/h																																																																		
Reduce el tonelaje a	2,100 ton/h.	3,000 ton/h.																																																																		
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	48 h	48 h																																																																		
Consecuencia Operacional	288,000 \$																																																																			
Consecuencia no operacional																																																																				
		Real	Ideal																																																																	
Costo de Materiales	Rodamientos.	360,000 \$																																																																		
	Rodillos nuevos	300,000 \$																																																																		
Costo de Mano de Obra (CMO)	10 Técnicos III	100 \$/h	10 \$/h																																																																	
	Mecánicos																																																																			
	Servicio de armado	50,000 \$																																																																		
	Otros servicios	30,000 \$																																																																		
Tiempo de Reparación		35 h	35 h																																																																	
Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																																	
Consecuencia no operacional		1443,500 \$																																																																		

Tabla 65 Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																																																											
8	Vibración mayor a 4 mm/seg	8.A	Vibración excesiva.	8.A.4	Desalineamiento del sistema de transmisión.	<p>Falla evidente: Si, por ruido excesivo en la transmisión.</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td></td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td></td> <td>0 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td></td> <td>0 h</td> <td>0 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">0,000 \$</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Consecuencia no operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Costo de Materiales</td> <td>cardán y acople hidrodinámico</td> <td>60,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>2,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo de Mano de Obra (CMO)</td> <td>3 Técnicos III Mecánicos</td> <td>30 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Reparación</td> <td></td> <td>4 h</td> <td>4 h</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la Producción (IP)</td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Consecuencia no operacional</td> <td colspan="2">142,120 \$</td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencia Operacional						Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto en		0%	100%	Impacto en la producción por HPGR		20,000 \$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a		0 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones		0 h	0 h	Consecuencia Operacional		0,000 \$		Consecuencia no operacional						Real	Ideal	Costo de Materiales	cardán y acople hidrodinámico	60,000 \$		Accesorios	2,000 \$		Costo de Mano de Obra (CMO)	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h	Tiempo de Reparación		4 h	4 h	Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h	Consecuencia no operacional		142,120 \$	
Consecuencia Operacional																																																																	
		Real	Ideal																																																														
Disminuye la calidad del producto en		0%	100%																																																														
Impacto en la producción por HPGR		20,000 \$/h	20,000\$/h																																																														
Reduce el tonelaje a		0 ton/h.	3,000 ton/h.																																																														
Tiempo máximo permitido en estas condiciones		0 h	0 h																																																														
Consecuencia Operacional		0,000 \$																																																															
Consecuencia no operacional																																																																	
		Real	Ideal																																																														
Costo de Materiales	cardán y acople hidrodinámico	60,000 \$																																																															
	Accesorios	2,000 \$																																																															
Costo de Mano de Obra (CMO)	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h																																																														
Tiempo de Reparación		4 h	4 h																																																														
Impacto en la Producción (IP)		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																														
Consecuencia no operacional		142,120 \$																																																															

Tabla 66 Desalineamiento del sistema de transmisión.

(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																											
8	Vibración mayor a 4 mm/seg	8.A	Vibración excesiva.	8.A.5	Acumulador de presión dañado.	<p><i>Falla evidente:</i> si, por inspección de manómetros depresión de los acumuladores.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Disminuye la calidad del producto en</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000\$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Reduce el tonelaje a</td> <td>1500ton/h</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2"><i>10,000 \$</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia no operacional</i></th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Acumulador de presión</td> <td>4,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>300 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>3 Técnicos III Mecánicos</td> <td>30 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>3 h</td> <td>3 h</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000\$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td colspan="2"><i>64,390 \$</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en		50%	100%	Impacto en la producción por HPGR		20,000\$/h	20,000\$/h	Reduce el tonelaje a		1500ton/h	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones		1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>		<i>Consecuencia no operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Acumulador de presión	4,000 \$		Accesorios	300 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		3 h	3 h	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>64,390 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																																	
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																														
Disminuye la calidad del producto en		50%	100%																																																														
Impacto en la producción por HPGR		20,000\$/h	20,000\$/h																																																														
Reduce el tonelaje a		1500ton/h	3,000 ton/h.																																																														
Tiempo máximo permitido en estas condiciones		1 h	1 h																																																														
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$</i>																																																															
<i>Consecuencia no operacional</i>																																																																	
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																														
<i>Costo de Materiales</i>	Acumulador de presión	4,000 \$																																																															
	Accesorios	300 \$																																																															
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	3 Técnicos III Mecánicos	30 \$/h	10 \$/h																																																														
<i>Tiempo de Reparación</i>		3 h	3 h																																																														
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000\$/h	20,000 \$/h																																																														
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>64,390 \$</i>																																																															

Tabla 67 Acumulador de presión dañado
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (causa de falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																								
9	Marcha oblicua del rodillo móvil menor a 10 mm.	9.A	Marcha oblicua del rodillo móvil mayor a 10 mm.	9.A.1	Alimentación no uniforme	<p><i>Falla No evidente:</i> Es necesario detener el equipo e inspeccionar por las compuertas y realizar la limpieza de Chute de alimentación.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto en</td> <td>0%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>0 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>2 Técnico II Chancado (Limpieza con aire comprimido.)</td> <td>16 \$/h</td> <td>8 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td colspan="2">20,016 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Consecuencia no operacional:</i> Ninguno</p>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto en	0%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.	2 Técnico II Chancado (Limpieza con aire comprimido.)	16 \$/h	8 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	<i>Consecuencia Operacional</i>	20,016 \$	
<i>Consecuencia Operacional</i>																														
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																												
Disminuye la calidad del producto en	0%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	0 ton/h.	3,000 ton/h.																												
2 Técnico II Chancado (Limpieza con aire comprimido.)	16 \$/h	8 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																												
<i>Consecuencia Operacional</i>	20,016 \$																													

Tabla 68 Alimentación no uniforme
(Fuente: Elaboración propia)

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (causa de falla)	<i>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</i>																																																					
9	Marcha oblicua del rodillo móvil menor a 10 mm.	9.A	Marcha oblicua del rodillo móvil mayor a 10 mm.	9.A.2	Válvulas hidráulicas dañadas.	<p><i>Falla No evidente:</i> Visualizado por el operador en Cuarto de Control, señal de alta presión en el sistema de supervisión e inspección visual de los manómetros.</p> <p><i>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente:</i> No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><i>Consecuencia Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>0 hora</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia Operacional</i></td> <td><i>10,000 \$/h</i></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><i>Consecuencia No Operacional</i></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th><i>Real</i></th> <th><i>Ideal</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Costo de Materiales</i></td> <td>Válvulas Hidráulicas</td> <td>5,000 \$</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i></td> <td>2 Técnicos III Mecánicos</td> <td>20 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Técnico III e Eléctrico Instrumentación</td> <td>10 \$/h</td> <td>10 \$/h</td> </tr> <tr> <td><i>Tiempo de Reparación</i></td> <td></td> <td>1 h</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td><i>Impacto en la Producción (IP)</i></td> <td></td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Consecuencia no operacional</i></td> <td><i>25,030 \$</i></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Consecuencia Operacional</i>				<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	Disminuye la calidad del producto	50%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	0 hora	<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$/h</i>	<i>Consecuencia No Operacional</i>						<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>Costo de Materiales</i>	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$		<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h		1 Técnico III e Eléctrico Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h	<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	-----	<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h	<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>25,030 \$</i>	
<i>Consecuencia Operacional</i>																																																											
	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																									
Disminuye la calidad del producto	50%	100%																																																									
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																									
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																																																									
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	0 hora																																																									
<i>Consecuencia Operacional</i>		<i>10,000 \$/h</i>																																																									
<i>Consecuencia No Operacional</i>																																																											
		<i>Real</i>	<i>Ideal</i>																																																								
<i>Costo de Materiales</i>	Válvulas Hidráulicas	5,000 \$																																																									
<i>Costo de Mano de Obra (CMO)</i>	2 Técnicos III Mecánicos	20 \$/h	10 \$/h																																																								
	1 Técnico III e Eléctrico Instrumentación	10 \$/h	10 \$/h																																																								
<i>Tiempo de Reparación</i>		1 h	-----																																																								
<i>Impacto en la Producción (IP)</i>		20,000 \$/h	20,000 \$/h																																																								
<i>Consecuencia no operacional</i>		<i>25,030 \$</i>																																																									

Tabla 69 Válvulas hidráulicas dañadas
(Fuente: Elaboración propia)

Cod	FUNCIÓN	Cod	FALLA FUNCIONAL	Cod	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	<u>EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)</u>																								
9	Marcha oblicua del rodillo móvil menor a 10 mm.	9.A	Marcha oblicua del rodillo móvil mayor a 10 mm.	9.A.3	Problemas con el sistema de control.	<p>Falla evidente: Si, Se puede visualizar la lógica de control en la estación de ingeniería</p> <p>Tiene consecuencias en seguridad ni medio ambiente: No.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Consecuencia Operacional</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Real</th> <th>Ideal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminuye la calidad del producto</td> <td>20%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Impacto en la producción por HPGR</td> <td>20,000 \$/h</td> <td>20,000 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Reduce el tonelaje a</td> <td>1,500 ton/h.</td> <td>3,000 ton/h.</td> </tr> <tr> <td>1 Ingeniero de Control</td> <td>13 \$/h</td> <td>13 \$/h</td> </tr> <tr> <td>Tiempo máximo permitido en estas condiciones</td> <td>1 h</td> <td>1 h</td> </tr> <tr> <td>Consecuencia Operacional</td> <td colspan="2">4,013 \$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Consecuencia no operacional: Ninguno.</p>	Consecuencia Operacional				Real	Ideal	Disminuye la calidad del producto	20%	100%	Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h	Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.	1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h	Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h	Consecuencia Operacional	4,013 \$	
Consecuencia Operacional																														
	Real	Ideal																												
Disminuye la calidad del producto	20%	100%																												
Impacto en la producción por HPGR	20,000 \$/h	20,000 \$/h																												
Reduce el tonelaje a	1,500 ton/h.	3,000 ton/h.																												
1 Ingeniero de Control	13 \$/h	13 \$/h																												
Tiempo máximo permitido en estas condiciones	1 h	1 h																												
Consecuencia Operacional	4,013 \$																													

Tabla 70 Problemas con el sistema de control
(Fuente: Elaboración propia)

8.1.1 Cuadro Resumen del Análisis de Modos y Efectos de Fallas

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	Consecuencia Operacional	Consecuencia a No Operacional	Total (US\$)
1	Triturar el mineral por presión desde un tamaño inicial de 46 mm hasta 10 mm o menos, manteniendo una capacidad promedio de mineral entre 2500 y 3000 ton/h.	1.A	Producto final mayor a 10 mm	1.A.1	Desgaste de los rodillos	\$ 480,000	\$ 1,443,500	\$ 1,4923,500
				1.A.2	Presión insuficiente del sistema hidráulico por contaminación.	\$ 10,000	\$ 45,060	\$ 55,060
				1.B.1	Activación del detector de metales.	\$ 10,012	\$ -	\$ 1,012
				1.B.2	Detención del alimentador	\$ 10,000	\$ -	\$ 10,000
				1.C.1	Acumulación de carga húmeda en chute de alimentación	\$ 3,408	\$ -	\$ 3,408
2	Mantener una presión de trituración entre 150 a 165 bar.	2.A	Presión mayor a 165 bar.	2.A.1	Mal funcionamiento de válvulas reguladoras de presión	\$ 10,000	\$ 25,030	\$ 35,030
				2.A.2	Problemas en la lógica de control	\$ 4,013	\$ -	\$ 4,013
				2.A.3	Mala calibración de los topes	\$ 10,000	\$ 40,060	\$ 50,060
				2.A.4	Alimentación desigual de material	\$ 20,016	\$ -	\$ 20,016
				2.B.1	Falla de válvulas reguladoras de presión	\$ 10,000	\$ 25,030	\$ 35,030
				2.B.2	Problemas en la lógica de control	\$ 4,013	\$ -	\$ 4,013
				2.B.3	Filtros saturados	\$ 10,000	\$ 20,220	\$ 30,220
				2.B.4	Acumuladores con insuficiente carga de nitrógeno	\$ 10,000	\$ 20,330	\$ 30,330
				2.B.5	Fuga de aceite en el sistema Hidráulico	\$ 5,000	\$ 44,780	\$ 49,780
				2.C.1	bomba hidráulica con caudal insuficiente	\$ 5,000	\$ 23,340	\$ 28,340
				2.C.2	Fuga de aceite Hidráulico	\$ 5,000	\$ 44,780	\$ 49,780
				2.C.3	Válvulas limitadoras de presión activadas	\$ 10,000	\$ 25,030	\$ 35,030

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	Consecuencia Operacional	Consecuencia No Operacional	Total (US\$)
3	Trabajar a una temperatura no mayor a 75 grados centigrados en los rodamientos de los rodillos	3.A	Temperatura en rodamientos mayor a 75°C	3.A.1	Falla del sensor de temperatura	\$ -----	\$ 20,345	\$ 20,345
				3.A.2	Lubricación excesiva	\$ -----	\$ 10	\$ 10
				3.A.3	Lubricación insuficiente por falla de la bomba de grasa	\$ 10,000	\$ 15,615	\$ 25,615
				3.A.4	Contaminación del lubricante.	\$ 480,000	\$ 90,460	\$ 570,460
				3.A.5	Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas	\$ 288,000	\$ 1,443,500	\$ 1,731,500
				3.A.6	Falla en el sistema de refrigeración	\$ 192,000	\$ 66,620	\$ 258,620
4	Operar durante un periodo no menor a 6 meses antes de necesitar cambio de rodillos.	4.A	Rodillos necesitan cambio antes de 6 meses.	4.A.1	Mala selección del material de los rodillos	\$110,880	\$ 120,600	\$ 231,480
				4.A.2	Studs mal colocados	\$ 31,680	\$ 40,410	\$ 72,090
				4.A.3	Mineral de alimentación de mucha dureza.	\$ 80,000	\$ -	\$ 80,000
				4.A.4	Paso de material inchancable.	\$ 10,012	\$ 1,443,500	\$ 1,453,512
5	Conservar una distancia entre rodillos (GAP) entre 45 mm y 60 mm.	5.A	Distancia entre rodillos fuera del rango	5.A.1	Falla de la lógica de control	\$ 10,013	\$ -	\$ 10,013
				5.A.2	Falla de los sensores de medición del GAP	\$ 40,000	\$ 61,060	\$ 101,060
				5.A.3	Desgaste de los rodillos no uniforme.	\$ 40,000	\$ 40,040	\$ 80,040
				5.A.4	Tamaño de mineral de alimentación demasiado grande.	\$ 79,200	\$ -----	\$ 79,200

Co	FUNCIÓN	Co	FALLA FUNCIONAL	Co	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	Consecuencia Operacional	Consecuencia No Operacional	Total (US\$)
6	Girar a una velocidad entre 18 y 23 rpm	6.A	Gira a velocidad fuera de rango	6.A.1	Falla en sensor de velocidad	\$ 2,000	\$ 60,860	\$ 62,860
				6.A.2	Problemas con el sistema de control de velocidad del DCS	\$ 4,013	\$ -----	\$ 4,013
				6.A.3	Problemas con el variador de velocidad del motor	\$ -----	\$ 99,030	\$ 99,030
7	Consumo nominal de corriente entre 350 y 400 Amperios.	7.A.	Alto consumo de corriente	7.A.1	Dureza muy alta del mineral de alimentación	\$ 80,000	\$ -	\$ 80,000
				7.A.2	Acumulación de mineral húmedo.	\$ 20,016	\$ -	\$ 20,016
				7.B.1	Problemas con el variador	\$ -	\$ 40,040	\$ 40,040
				7.B.2	Rotura en el sistema de Transmisión.	\$ -----	\$ 142,120	\$ 142,120
8	Vibración mayor a 4 mm/seg	8.A.	Vibración excesiva.	8.A.1	Mineral de alimentación de mucha dureza.	\$ 80,000	\$ -----	\$ 80,000
				8.A.2	Presencia de material inchancable.	\$ 10,012	\$ 1,443,500	\$ 1,453,512
				8.A.3	Picaduras en los elementos rodantes y/o pistas internas	\$ 288,000	\$ 1,443,500	\$ 1,731,500
				8.A.4	Desalineamiento del sistema de transmisión.	\$ -----	\$ 142,120	\$ 142,120
				8.A.5	Acumulador de presión dañado.	\$ 10,000	\$ 64,390	\$ 74,390
9	Marcha oblicua del rodillo móvil menor a 10 mm.	9.A.	Marcha oblicua del rodillo móvil mayor a 10 mm.	9.A.1	Alimentación no uniforme	\$ 20,016	\$ -----	\$ 20,016
				9.A.2	Válvulas hidráulicas dañadas.	\$ 10,000	\$ 25,030	\$ 35,030
				9.A.3	Problemas con el sistema de control.	\$ 4,013	\$ -	\$ 4,013

Tabla 71 Cuadro Resumen del Análisis de Modos y Efectos de Fallas
(Fuente: Elaboración propia)

Costos AMEF – Consecuencia No Operacional

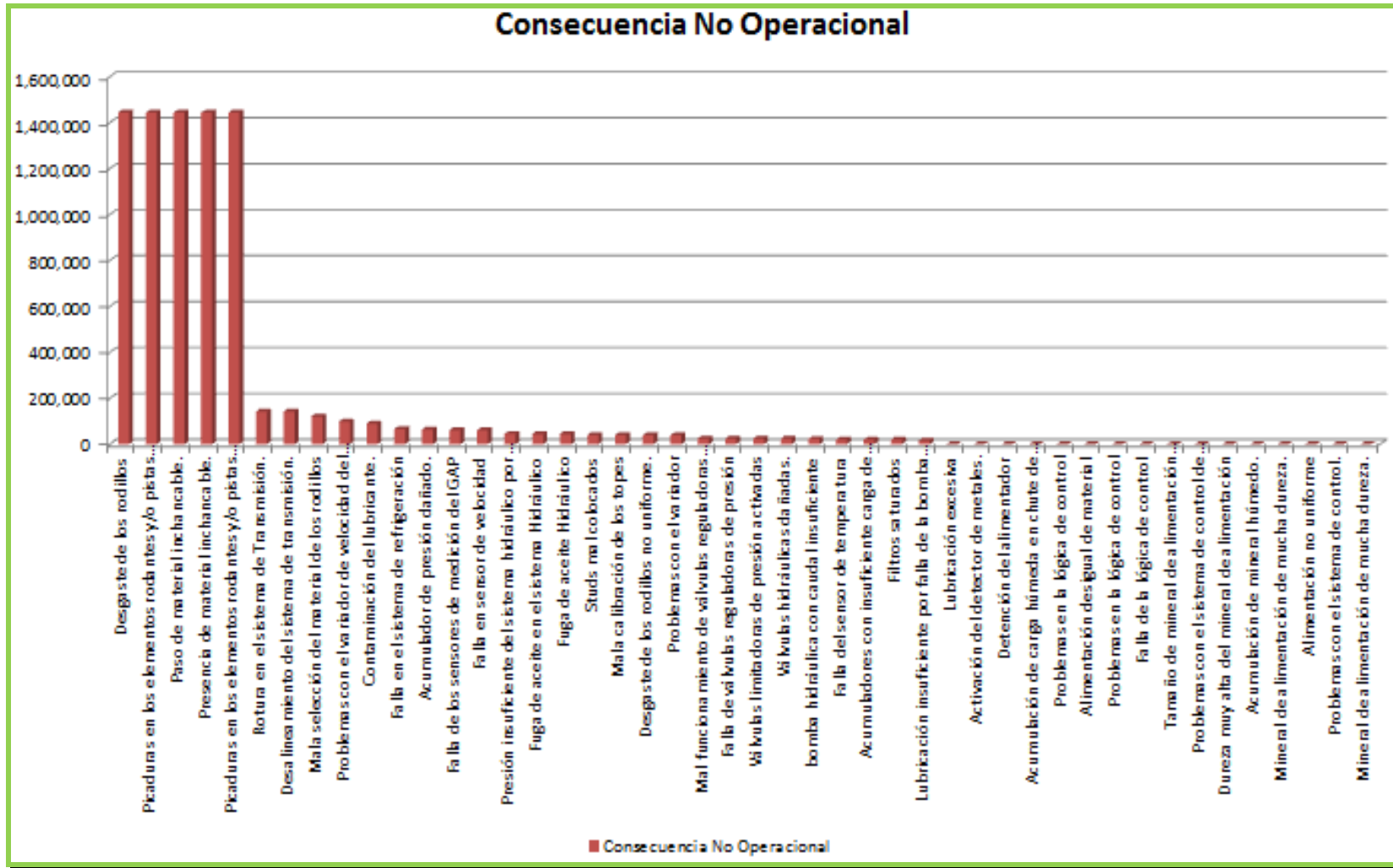


Figura 25 Diagrama de Barras consecuencia No Operacional.
(Fuente: Elaboración propia)

8.1.2 Criticidad de los Modos de Fallas (NPR) de los Sistemas, Subsistemas o Componentes

ITEM	COD.	MODO DE FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCION (D)	NPR	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	Consec. No Operac.
1	8.A.3	Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas (soldadura)	9	6	8	432	8.90%	8.90%	\$1,443,500
2	3.A.5	Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas (corrosión)	9	6	8	432	8.90%	17.79%	\$1,443,500
3	3.A.3	Lubricación insuficiente por falla en la bomba	8	5	7	280	5.77%	23.56%	\$15,615
4	1.A.1	Desgaste de los rodillos	7	9	4	252	5.19%	28.75%	\$1,443,500
5	3.A.4	Contaminación del lubricante	8	5	6	240	4.94%	33.69%	\$ 90,460
6	2.A.4	Alimentación desigual de material	6	8	5	240	4.94%	38.63%	\$ -----
7	1.A.2	Presión insuficiente del sistema hidráulico por Contaminación	6	7	5	210	4.32%	42.96%	\$ 45,060
8	8.A.1	Dureza muy alta del mineral de alimentación	5	9	4	180	3.72%	46.66%	\$ -----
9	7.A.1	Dureza muy alta del mineral de alimentación	5	9	4	180	3.72%	50.37%	\$ -----
10	4.A.3	Mineral de alimentación de mucha dureza	5	9	4	180	3.72%	54.08%	\$ -----
11	2.B.3	Filtros saturados	7	8	3	168	3.47%	57.54%	\$ 20,220
12	1.C.1	Acumulación de carga húmeda en chute de alimentación	6	4	5	120	2.48%	60.01%	\$ -----
13	9.A.2	Válvulas hidráulicas dañadas	7	4	4	112	2.31%	62.31%	\$ 25,030
14	3.A.2	Lubricación excesiva	4	7	4	112	2.31%	64.62%	\$ 10
15	7.A.2	Acumulación de mineral húmedo	5	6	3	90	1.85%	66.47%	\$ -----
16	2.B.1	Falla de válvulas reguladoras de presión	4	4	5	80	1.65%	68.12%	\$ 25,030
17	2.A.2	Problemas en la lógica de control	5	4	4	80	1.65%	69.77%	\$ -----

ITEM	COD.	MODO DE FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCION (D)	NPR	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	Consec. No Operac.
18	5.A.4	Tamaño de mineral de alimentación demasiado grande	4	5	4	80	1.65%	71.42%	\$ ----
19	9.A.1	Alimentación no uniforme	4	5	4	80	1.65%	73.06%	\$ ----
20	2.B.2	Problemas en la lógica de control	4	5	4	80	1.65%	74.71%	\$ ----
21	1.B.1	Activación del detector de metales	5	5	3	75	1.54%	76.26%	\$ ----
22	4.A.1	Mala selección del material de los rodillos	8	3	3	72	1.48%	77.74%	\$ 120,600
23	2.A.1	Mal funcionamiento de las válvulas reguladoras de presión	6	4	3	72	1.48%	79.22%	\$ 25,030
24	6.A.1	Falla en sensor de velocidad	6	4	3	72	1.48%	80.70%	\$ 60,860
25	2.B.4	Acumuladores con insuficiente carga de nitrógeno	4	6	3	72	1.48%	82.19%	\$ 20,330
26	3.A.6	Falla en el sistema de refrigeración	5	7	2	70	1.44%	83.63%	\$ 66,620
27	2.B.5	Fuga de aceite en el sistema hidráulico	4	5	3	60	1.24%	84.86%	\$ 44,780
28	5.A.3	Desgaste no uniforme de los rodillos	7	4	2	56	1.15%	86.02%	\$ 40,040
29	5.A.2	Falla de los sensores de medición de GAP	7	2	4	56	1.15%	87.17%	\$ 61,060
30	7.B.1	Problemas con el variador de velocidad del motor	6	4	2	48	0.99%	88.16%	\$ 40,040
31	5.A.1	Falla de la lógica de control	6	2	4	48	0.99%	89.15%	\$ ----
32	4.A.2	Studs mal colocados	8	2	3	48	0.99%	90.14%	\$ 40,410
33	3.A.1	Falla de sensor de temperatura	5	3	3	45	0.93%	91.12%	\$ 20,345
34	8.A.5	Acumulador de presión dañado	3	7	2	42	0.86%	92.05%	\$ 64,390
35	2.C.1	Bomba hidráulica con caudal insuficiente	5	4	2	40	0.82%	92.92%	\$ 23,340
36	1.B.2	Detención del alimentador	8	5	1	40	0.82%	93.74%	\$ ----

ITEM	COD.	MODO DE FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCION (D)	NPR	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	Consec. No Operac.
37	8.A.4	Desalineamiento del sistema de transmisión	9	2	2	36	0.74%	94.56%	\$ 142,120
38	7.B.2	Rotura en el sistema de transmisión	8	2	2	32	0.66%	95.30%	\$ 142,120
39	8.A.2	Presencia de material inchancable	8	2	2	32	0.66%	95.96%	\$1,443,500
40	6.A.2	Problemas con el sensor de control de velocidad del DCS	4	4	2	32	0.66%	96.62%	\$ ----
41	4.A.4	Presencia de material inchancable	8	2	2	32	0.66%	97.28%	\$1,443,500
42	6.A.3	Problemas con el variador de velocidad del motor	5	3	2	30	0.62%	97.94%	\$ 99,030
43	2.A.3	Mala calibración de los topes	7	2	2	28	0.58%	98.52%	\$ 40,060
44	9.A.3	Problemas con el sistema de control	4	3	2	24	0.50%	99.01%	\$ ----
45	2.C.3	Válvulas limitadoras de presión activadas	4	3	2	24	0.50%	99.51%	\$ 25,030
46	2.C.2	Fuga de aceite hidráulico	4	3	2	24	0.50%	100.00%	\$ 44,780
TOTAL						4,838			

Tabla 72 NPR Criticidad de los Modos y Efectos de Fallas

(Fuente: Elaboración propia)

Modos de Falla (NPR) de los Sistemas, Subsistemas o Componentes

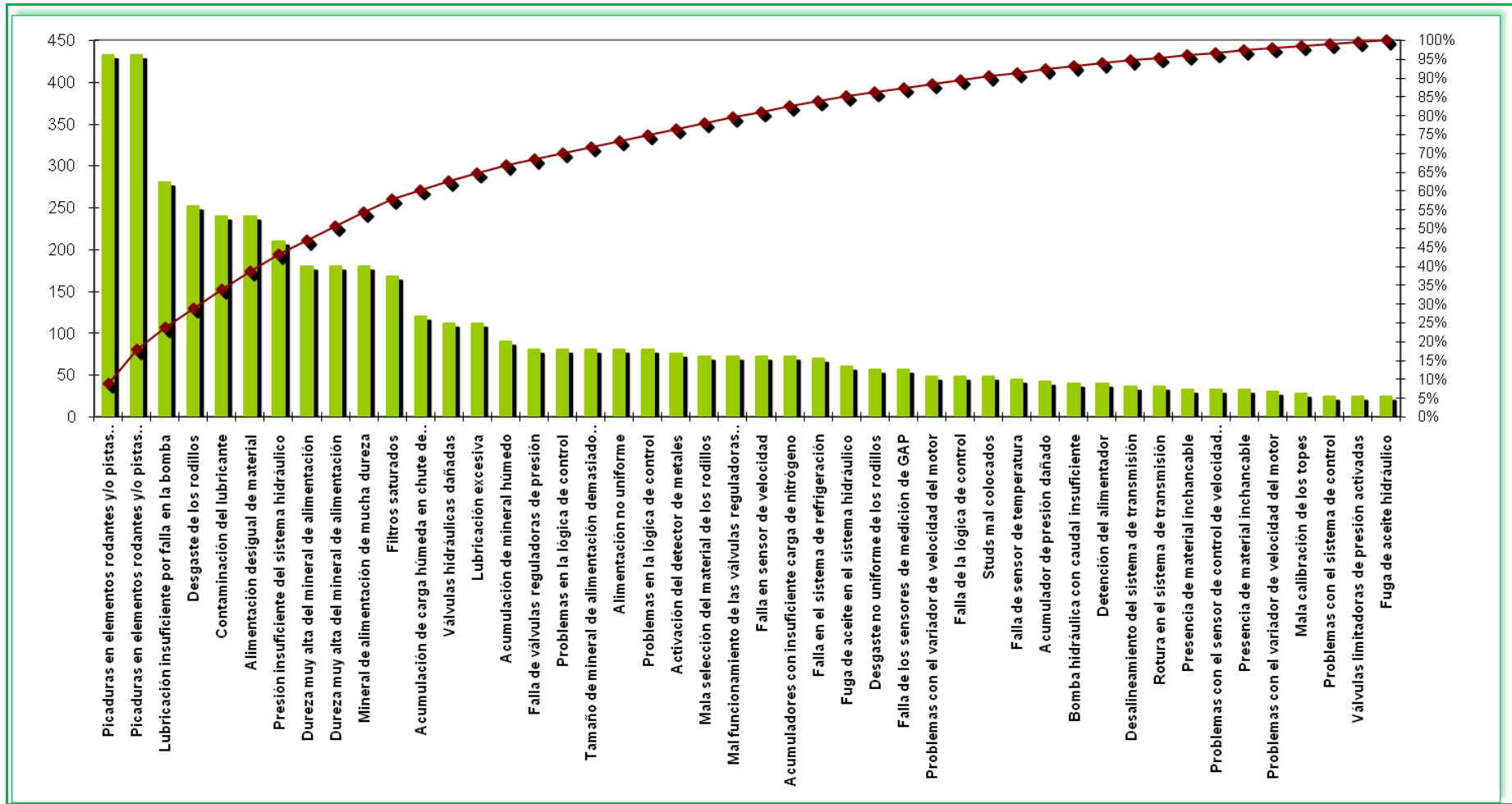


Figura 26 Diagrama de Barras NPR – Modo efecto de falla.

(Fuente: Elaboración propia)

8.2 Conclusiones del Análisis del AMEF

En esta parte del proyecto hemos podido analizar los modos y efectos de falla del activo. Es muy importante consignar todos los modos de falla, para poder escoger una estrategia, que nos ayude a plantear una actividad en cada caso. (Tabla 71 Cuadro Resumen del Análisis de Modos y Efectos de Fallas).

Seguidamente hemos realizado el cálculo del NPR para poder determinar los modos de fallas críticos para el equipo en estudio. (Tabla 71 NPR Criticidad de los Modos y Efectos de Fallas). Para esto hemos tomado la siguiente consideración:

- $NPR > 200$ Inaceptable (I)
- $200 > NPR < 125$ Deseable (R)
- $125 > NPR$ Aceptable (A)

Las tareas que cumplen con las sentencias antes mencionadas son:

- a) Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas (por corriente de soldadura).
- b) Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas (por contaminación de lubricante).
- c) Lubricación insuficiente por falla en la bomba de grasa.
- d) Desgaste de los rodillos.
- e) Contaminación del lubricante
- f) Alimentación desigual del mineral.
- g) Presión insuficiente del sistema hidráulico por Contaminación.
- h) Dureza muy alta del mineral de alimentación
- i) Filtros Saturados

Una vez seleccionados los modos de falla, debemos tomar planes de acción para eliminar o corregir el problema potencial, básicamente responder las siguientes preguntas ¿Qué debe de hacerse para predecir o prevenir cada falla? (tareas de mantenimiento).

CAPITULO IX

CONSECUENCIAS, VIABILIDAD Y PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Para este capítulo vamos a trabajar con la hoja de decisiones de Moubray y así poder definir las actividades que completaran nuestro nuevo plan de mantenimiento.

El uso de la Hoja de Decisión permite encontrar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, y en función de estas respuestas registrar lo siguiente:

- Cuáles son los mantenimientos de rutina, con qué frecuencia será realizado y quien lo hará.
- Las fallas que son lo suficientemente serias como para justificar un rediseño.
- Tomar la decisión de dejar que la falla ocurra.

9.1 Viabilidad Técnica y Económica de cada Estrategia por Modo de Falla

Cuantificación del Riesgo / Año		
Costos incurridos	Fórmula	Unidad
Frecuencia de falla (FF):		Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):		Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):		Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):		Horas.
Impacto en la Producción (IP):		Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	$FF \times (CMO + CM)$	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	$TR \times IP$	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	$FF \times PE$	Dólares/año.
Riesgo Total Anualizado (RTA):	$CAR + PAF$	Dólares/año.

Tabla 73 Formulas de cuantificación del riesgo.
(Fuente: Elaboración propia)

REFERENCIA AMECF	CONSECUENCIAS				ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS			TECNI				
	H				H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA	FRECUENCIA					
		S	E		SE1	SE2	SE3	SE4	SE5								
				P	P1	P2	P3	P4	P5								
F	FF	MF	NRP					N	N1	N2	N3	N4	N5				
Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas (por corriente de soldadura)	8	A	3	432	NO								H5	Rediseño: Mejorar el método de soldadura.	Elaborar un protocolo de soldadura de studs para evitar dañar los rodamientos.	Cada 2 meses	En el protocolo establecido que cerca al electrodo poder extender en 08 meses.

Cuantificación del Riesgo (actual)		
8. A.3. Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas por corriente de soldadura.		
Frecuencia de falla (FF):	2	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	83,500	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	660,000	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	35	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	1,487,000	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	700,000	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	1,400,000	Dólares/año.
Riesgo Total Anualizado (RTA):	2,887,000	Dólares/año.

Tabla 74 Viabilidad técnica Económica / Corriente soldadura
(Fuente: Elaboración propia)



REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS					ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS		TECNICA		
				H	S	E			H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA		FRECUENCIA	
							P		SE1	SE2	SE3	SE4	SE5					P1
F	FF	MF	NRP				N	N1	N2	N3	N4	N5						
Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas (por contaminación de lubricante)	3	A	5	432	NO					H1					Mantto. a Condición	Análisis de Vibraciones, Análisis de Grasa	Vibración semanal y análisis de grasa cada 02 meses	Debido a que el intervalo P-F es de 08 días, y considerando que las intervenciones se realizan cada 02 meses, podemos determinar la falla anticipadamente, logrando de esta forma programar los recursos necesarios para intervenir el equipo. Finalmente, se recomienda el análisis de grasa cada 2 meses y el análisis de vibraciones semanal para aumentar el tiempo de vida del equipo en 08 meses.

Cuantificación del Riesgo (actual)		
3.A.5. Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas por contaminación del lubricante.		
Frecuencia de falla (FF):	2	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	83,500	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	660,000	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	35	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	1,487,000	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	700,000	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	1,400,000	Dólares/año.
Riesgo Total Anualizado (RTA):	2,887,000	Dólares/año.

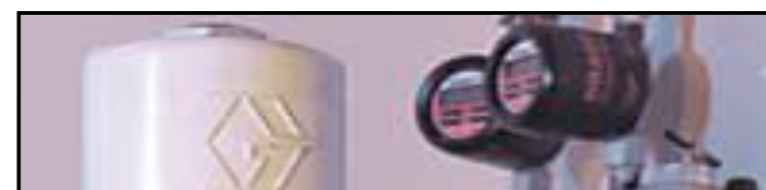
Tabla 75 Viabilidad técnica Económica / Contaminación del lubricante
(Fuente: Elaboración propia)

REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS				ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS		TEC	
				H	S	E		H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA		FRECUENCIA
F	FF	MF	NRP			P	N	N1	N2	N3	N4	N5				
Lubricación insuficiente por falla en la bomba de grasa.	3	A	3	280	NO					H3			Sustitución Cíclica	Realizar el cambio de bomba preventivamente cada 4,000 horas de operación o 6 meses.	Cada 6 meses	Debido a que se tiene un riesgo alto no se puede aplicar un mantenimiento preventivo, esto implica utilizar un mantenimiento correctivo es decir el cambio cada 6 meses, esto debido a los bajos costos de mantenimiento necesarios para el cambio de bomba operacional.

Cuantificación del Riesgo (actual)		
3.A.3. Lubricación insuficiente por falla en la bomba.		
Frecuencia de falla (FF):	2	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	15	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	600	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	0.75	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	1,230	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	15,000	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	30,000	Dólares/año.
Riesgo Total Anualizado (RTA):	31,230	Dólares/año.

Tabla 76 Viabilidad técnica Económica / Problemas en la bomba

(Fuente: Elaboración propia)



REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS					ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS			TECNI	
				H					H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA	FRECUENCIA		
					S	E			SE1	SE2	SE3	SE4	SE5					
F	FF	MF	NRP			P		N	N1	N2	N3	N4	N5					
Desgaste de los rodillos	1	A	1	252	SI	NO	NO	SI		P1					Mtto Condición	Realizar la medición de una fila de studs, haciendo uso de la técnica predictiva de Ultrasonido, para determinar desgaste.	Cada 02 meses	Debido a que el tiempo de vida útil es de 50 días y considerando que las inspecciones cada 02 meses, podemos prevenir la falla anticipada logrando de esta manera programar los trabajos necesarios para repararlos mecánicamente

Cuantificación del Riesgo (actual)		
1.A.1. Desgaste de los rodillos		
Frecuencia de falla (FF):	1	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	83,500	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	660,000	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	35	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	743,500	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	700,000	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	700,000	Dólares/año.
Riesgo Total Anualizado (RTA):	1,443,500	Dólares/año.

Tabla 77 Viabilidad técnica Económica / desgaste de los rodillos
(Fuente: Elaboración propia)



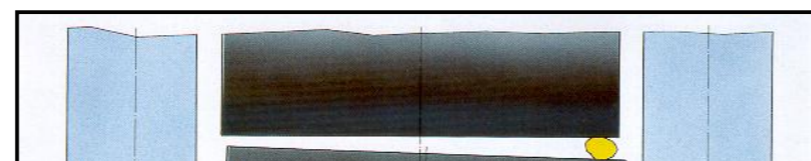
	REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS					ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS			
					H					H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA	FRECUENCIA	TECN.
						S	E			SE1	SE2	SE3	SE4	SE5				
				P		P1	P2	P3	P4	P5								
F	FF	MF	NRP					N	N1	N2	N3	N4	N5					
Contaminación del lubricante	3	A	4	240	NO									H5	Rediseño	Verificar y cambiar sistema de montaje y diseño de los sellos. Por lo pronto programar inspecciones y/o cambios por condición.	Cada 4 meses	Se instalara un sistema con aire en línea para evitar el desgaste acelerado. Pronto se realiza 1 vez cada 02 meses.

Cuantificación del Riesgo (actual)		
3.A.4. Contaminación del lubricante.		
Frecuencia de falla (FF):	6	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	160	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	10,300	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	4	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	62,760	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	80,000	Dólares/falla.

REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS					ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS		TE	
				H	S	E			H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA		FRECUENCIA
F	FF	MF	NRP			P											
							N	N1	N2	N3	N4	N5					
Alimentación desigual de material	2	A	4	240	SI	NO	NO	SI					P5	Rediseño	Instalar chaquetas inflables (Fig. 33), las cuales tienen la propiedad de auto-limpiarse.	Cada y 6 meses	Para este caso instalando chaquetas limpiantes evita la limpieza. Por lo tanto la limpieza cada 0.

Cuantificación del Riesgo (actual)		
2.A.4. Alimentación desigual de material.		
Frecuencia de falla (FF):	6	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	16	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	30	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	1	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	276	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	20,000	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	120,000	Dólares/año.
Riesgo Total Anualizado (RTA):	120,276	Dólares/año.

Tabla 79 Viabilidad técnica Económica / Alimentación no uniforme del mineral
(Fuente: Elaboración propia)



REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS					ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS		TECNICO		
				H	S	E			H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA		FRECUENCIA	
F	FF	MF	NRP				P		N	N1	N2	N3	N4			N5		
Presión insuficiente del sistema hidráulico por contaminación de aceite Hidráulico	1	A	2	210	SI	NO	NO	SI		P1					Mtto. A Condición	Análisis de Aceite	Cada 2 meses	Debido a que el intervalo y considerando que las mensuales, podemos anticipadamente, logrando programar los recursos cambio de aceite o dializa

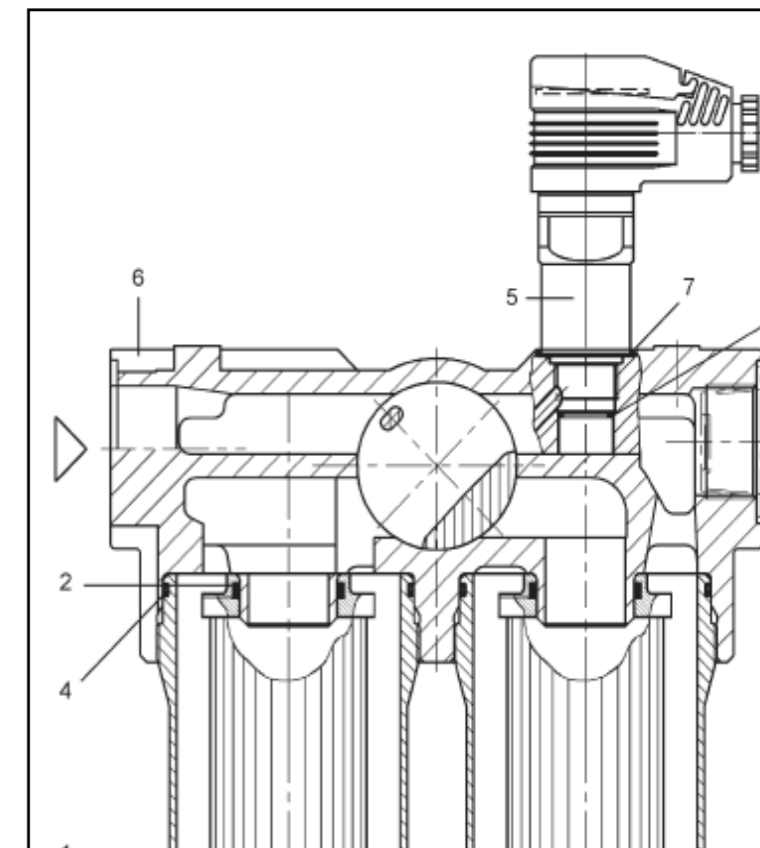
Cuantificación del Riesgo (actual)		
1. A.2. Presión insuficiente del sistema hidráulico.		
Frecuencia de falla (FF):	6	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	60	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	5,000	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	2	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.
Costo Anual de Reparación (CAR):	30,360	Dólares/año.
Penalización por Evento (PE):	40,000	Dólares/falla.
Penalización anual por evento de falla (PAF):	240,000	Dólares/año.



	REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS					ARBOL LOGICO DE DECISION					ESTRATEGIAS			TECN
					H					H1	H2	H3	H4	H5	TIPO DE MANTTO	TAREA	FRECUENCIA	
						S	E			SE1	SE2	SE3	SE4	SE5				
	F	FF	MF	NRP			P			P1	P2	P3	P4	P5				
							N	N1	N2	N3	N4	N5						
Filtros Saturados del Sistema hidráulico	2	B	3	168	SI	NO	NO	SI						P5	Rediseño.	Instalar un filtro en Stand By para realizar el by pass al cambiar el elemento filtrante.	-	Los filtros se saturan de ocurrir este cambio a la posición afectar la p

Cuantificación del Riesgo (actual)

Cuantificación del Riesgo (actual)		
2.B.3. Filtros saturados		
Frecuencia de falla (FF):	6	Falla/año.
Costo de Mano de Obra (CMO):	20	Dólares/falla.
Costo de Materiales (CM):	200	Dólares/falla.
Tiempo de Reparación (TR):	1	Horas.
Impacto en la Producción (IP):	20,000	Dólares/hora.



Riesgo Total Anualizado (RTA).

No.	Modo de falla	Costo Anual de Reparación (CAR)	Penalización por Evento (PE)	Penalización anual por evento de falla (PAF)	Riesgo Total Anualizado (RTA)
8.A.3	Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas por corriente de soldadura	\$ 1,487,000	\$700,000	\$1,400,000	\$2,887,000
3.A.5	Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas por contaminación del lubricante.	\$ 1,487,000	\$700,000	\$1,400,000	\$2,887,000
1.A.1	Desgaste de los rodillos	\$ 743,500	\$700,000	\$ 700,000	\$1,443,500
3.A.4	Contaminación del lubricante.	\$ 62,760	\$ 80,000	\$ 480,000	\$ 542,760
1.A.2	Presión insuficiente del sistema hidráulico.	\$ 30,360	\$ 40,000	\$ 240,000	\$ 270,360
2.B.3	Filtros saturados	\$ 1,320	\$ 20,000	\$ 120,000	\$ 121,320
2.A.4	Alimentación desigual de material.	\$ 276	\$ 20,000	\$ 120,000	\$ 120,276
3.A.3	Lubricación insuficiente por falla en la bomba.	\$ 1,230	\$ 15,000	\$ 30,000	\$ 31,230
8.A.1	Dureza muy alta del material de alimentación.	0	0	0	0

Tabla 83 Cuadro resumen de la viabilidad técnica Económica

(Fuente: Elaboración propia)



Cuantificación de Riesgos según Modo de Falla

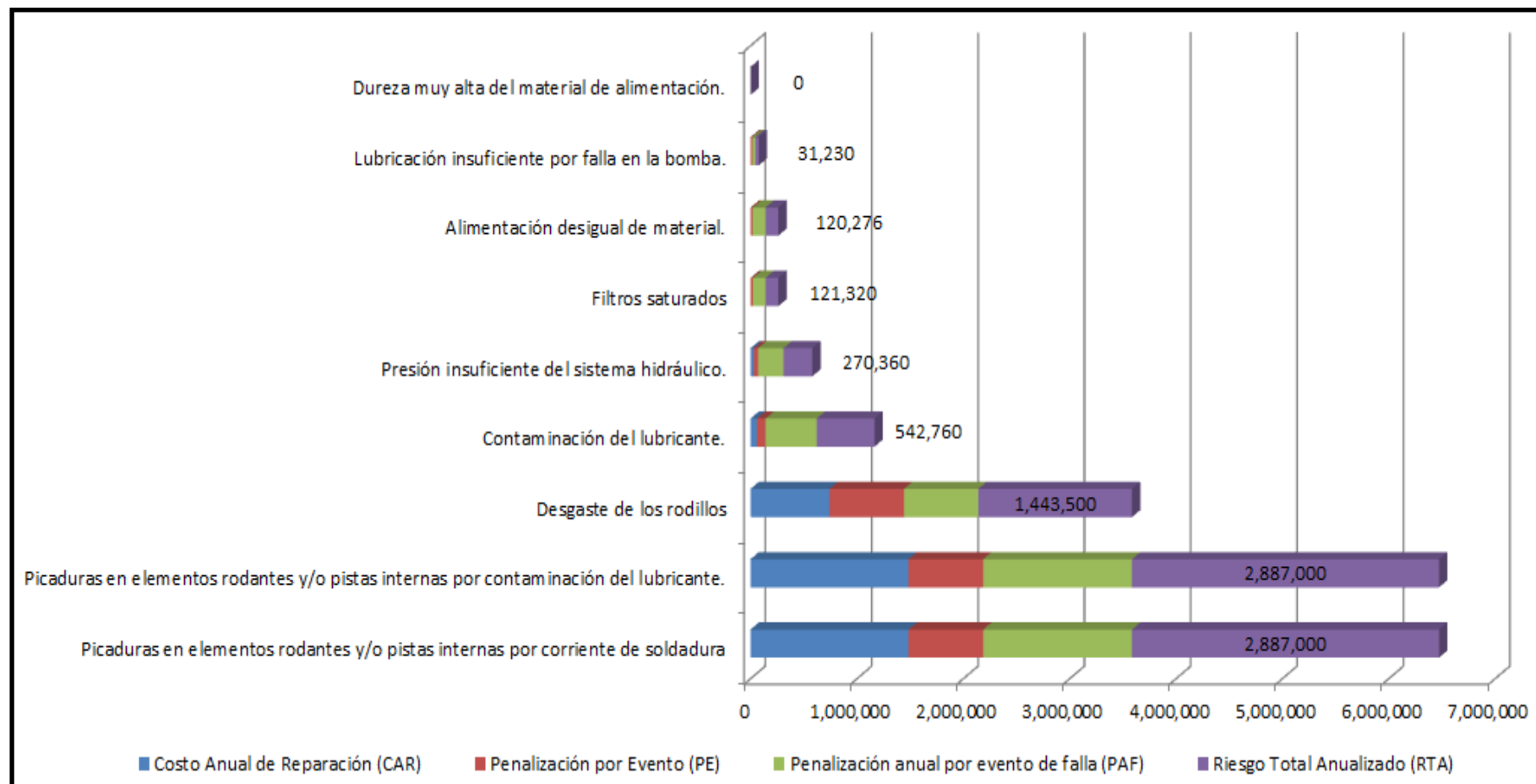


Figura 37 Diagrama de Barras cuantificación del riesgo según modo de falla.
(Fuente: Elaboración propia)

9.2 Análisis Económico

Seguidamente desarrollaremos el análisis financiero representado por el flujo de caja. Las tablas 84 y 85 muestran una comparación de dos escenarios. El escenario 01 muestran los gastos que se tienen con la tendencia de los planes de mantenimiento actuales, mientras que el escenario 02 muestra los gastos que se tendrían con la implementación del RCM, para ambos casos por un motivo demostrativo se corren los flujos de caja considerando como máximo el período de cinco años, entendiéndose que la tendencia de los gastos seguirá siendo la misma hasta donde se termine los años de operación de la chancadora Terciaria. Además cabe señalar que para este ejemplo tomaremos una tasa de descuento de 10%.

ESCENARIO 01: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL							
FLUJO DE CAJA ECONÓMICO							
PERIODO EN AÑOS		0	1	2	3	4	5
No.	Modo de falla						
1	Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas	-	2,887,000	2,887,000	2,887,000	2,887,000	2,887,000
2	Desgaste de los rodillos	-	1,443,500	2,887,000	1,443,500	2,887,000	1,443,500
3	Contaminación del lubricante.	-	542,760	542,760	542,760	542,760	542,760
4	Presión insuficiente del sistema hidráulico.	-	270,360	270,360	270,360	270,360	270,360
5	Filtros saturados	-	121,320	121,320	121,320	121,320	121,320
6	Alimentación desigual de material.	-	120,276	120,276	120,276	120,276	120,276
7	Lubricación insuficiente por falla en la bomba.	-	31,230	31,230	31,230	31,230	31,230
FLUJO DE CAJA ECONÓMICO		-	5,416,446	6,859,946	5,416,446	6,859,946	5,416,446
VAN			22,711,497				

Tabla 84 Análisis de flujo de Caja Escenario 01
(Fuente: Elaboración propia)

ESCENARIO 02: PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO RCM							
FLUJO DE CAJA ECONÓMICO							
PERIODO EN AÑOS		0	1	2	3	4	5
No.	Modo de falla						
1	Picaduras en elementos rodantes y/o pistas internas	-	1,443,500	2,887,000	1,443,500	2,887,000	1,443,500
2	Desgaste de los rodillos	-	1,443,500	2,887,000	1,443,500	2,887,000	1,443,500
3	Contaminación del lubricante.	-	271,380	271,380	271,380	271,380	271,380
4	Presión insuficiente del sistema hidráulico.	-	270,360	270,360	270,360	270,360	270,360
5	Filtros saturados	-	20,000	-	-	-	-
6	Alimentación desigual de material.	-	40,092	40,092	40,092	40,092	40,092
7	Lubricación insuficiente por falla en la bomba.	-	31,230	31,230	31,230	31,230	31,230
FLUJO DE CAJA ECONÓMICO		-	3,520,062	6,387,062	3,500,062	6,387,062	3,500,062
VAN			17,643,981				

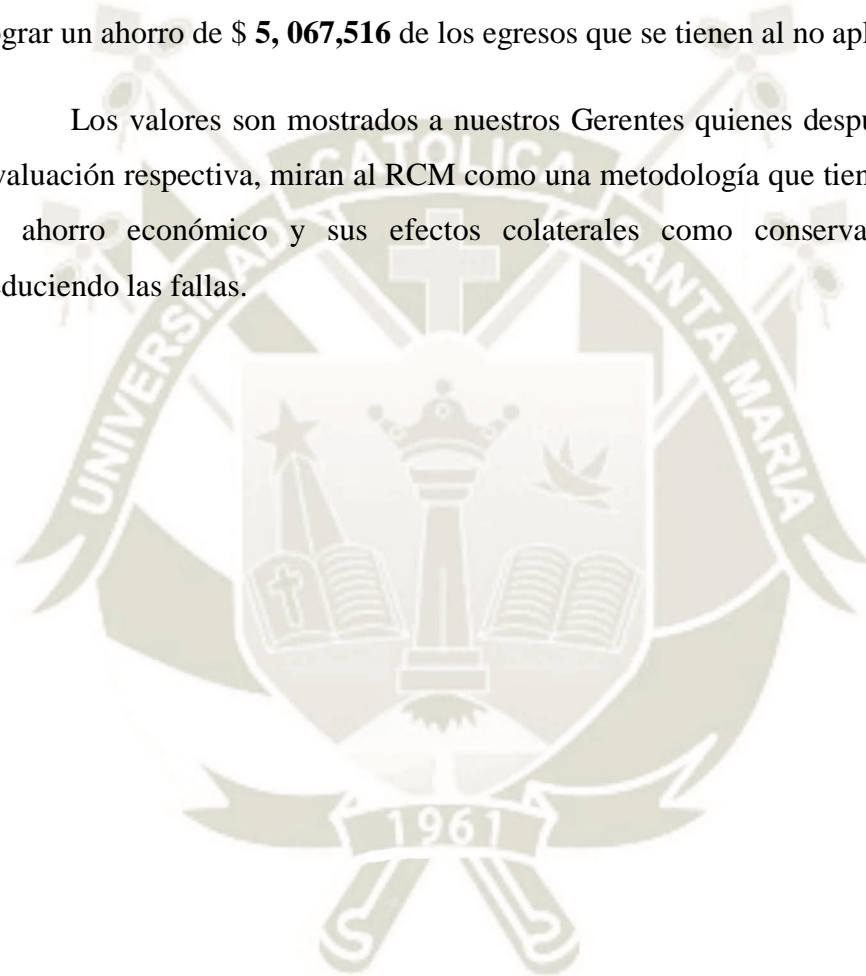
AHORRO	5,067,516
---------------	------------------

Tabla 85 Análisis de flujo de Caja Escenario 02
(Fuente: Elaboración propia)

Una vez concluido el cálculo del VAN en ambos escenarios, vemos claramente que el costo que impacta claramente es el de las Picaduras en el elemento rodante o pistas internas. Es por eso que tomando todas las consideraciones expuestas en nuestro árbol de decisiones, nos permitirá extender la vida útil de nuestros rodamientos y así poder realizar en paralelo al cambio de rodillos.

Por lo que podemos concluir que con una evaluación en 05 años, se puede lograr un ahorro de \$ **5,067,516** de los egresos que se tienen al no aplicar el RCM.

Los valores son mostrados a nuestros Gerentes quienes después de realizar la evaluación respectiva, miran al RCM como una metodología que tiene como fortaleza el ahorro económico y sus efectos colaterales como conservación del activo reduciendo las fallas.



CAPITULO X

ANÁLISIS WEIBULL

10.1 Picaduras en elementos rodantes y pistas de rodamientos

i	TO (horas)	TO (días)	TIPO
1	2868	119.5	F
2	3156	131.5	F
3	3360	140.0	F
4	3519	146.6	F
5	4126	171.9	F
6	4320	180.0	F

Tabla 86 Bitácora del rodamiento
(Fuente: Elaboración propia)

Considerar:

TO : Tiempo de operación

F : Falla

10.1.1 Cálculo de los parámetros de WEIBULL: Método de los mínimos cuadrados.

	TO	Rango Mediana	X	Y (Rango mediana)			
	DIAS	$(i-0.3)/(N+0.4)$	$\ln(Ti)$	$\ln(\ln(1/(1-F(Ti))))$	$(\ln(Ti))^2$	Yi^2	
i	Ti	F(Ti)	Xi	Yi	Xi ²	Yi ²	Xi*Yi
1	119.5	0.1094	4.7833	-2.1556	22.8801	4.6467	-10.3110
2	131.5	0.2656	4.8790	-1.1753	23.8047	1.3813	-5.7342
3	140.0	0.4219	4.9416	-0.6015	24.4198	0.3619	-2.9726
4	146.6	0.5781	4.9879	-0.1473	24.8789	0.0217	-0.7346
5	171.9	0.7344	5.1470	0.2819	26.4917	0.0795	1.4510
6	180.0	0.8906	5.1930	0.7943	26.9668	0.6310	4.1250
			29.9318	-3.0035	149.4421	7.1219	-14.1764

Tabla 87 Mínimos Cuadrados
(Fuente: Elaboración propia)

10.1.2 Método de regresión lineal.

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \bar{y} - \hat{b} \bar{x}$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^6 (\ln T_i) y_i - (\sum_{i=1}^6 \ln T_i)(\sum_{i=1}^6 y_i) / 6}{\sum_{i=1}^6 (\ln T_i)^2 - (\sum_{i=1}^6 \ln T_i)^2 / 6}$$

De donde:

$$b = 6.5477$$

$$a = -33.1646$$

De la ecuación de la recta: $Y = bX + a$

$$Y = 6.5477X - 33.1646$$

Procedemos a encontrar el parámetro de escala.

$$\hat{\eta} = e^{-\frac{\hat{a}}{\hat{b}}}$$

$$\eta = 158.3941 \text{ días}$$

10.1.3 Aplicando el coeficiente de correlación.

	TO	RANGO MEDIANA	X	Y (RANGO MEDIANA	Xi PROMEDIO			Yi PROMEDIO			
	HORAS	(i-0.3)/(N+0.4)	ln(Ti)	ln(ln(1/(1-F(Ti))))		Xi-X PROM	(Xi-X PROM)^2		Yi - Y PROM	(Yi-Y PROM)^2	(Xi-X PROM)*(Yi-Y PROM)
i	Ti	F(Ti)	Xi	Yi							
1	119.5	0.1094	4.7833	-2.1556	4.9886	-0.2053	0.0422	-0.5006	-1.6550	2.7392	0.3398
2	131.5	0.2656	4.8790	-1.1753	4.9886	-0.1096	0.0120	-0.5006	-0.6747	0.4552	0.0740
3	140.0	0.4219	4.9416	-0.6015	4.9886	-0.0470	0.0022	-0.5006	-0.1010	0.0102	0.0047
4	146.6	0.5781	4.9879	-0.1473	4.9886	-0.0008	0.0000	-0.5006	0.3533	0.1248	-0.0003
5	171.9	0.7344	5.1470	0.2819	4.9886	0.1584	0.0251	-0.5006	0.7825	0.6123	0.1239
6	180.0	0.8906	5.1930	0.7943	4.9886	0.2043	0.0417	-0.5006	1.2949	1.6768	0.2646
			29.9318	-3.0035			0.1232			5.6185	0.8068

Tabla 88 Coeficiente de Correlación
(Fuente: Elaboración propia)

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \times \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$\hat{\rho} = 0.9696\%$$

10.1.4 Parámetros estimados.

PARAMETRO DE FORMA	β	6.5477	
PARAMETRO DE ESCALA	η	158.3941	días
PARAMETRO DE LOCALIZACION	γ	0.00	días

Siendo $\gamma = 0$, debido a que el coeficiente de correlación es 96.96%, y al ser casi 100% ($\rho=1$), lo cual quiere decir que los datos se ajustan a una recta

10.1.5 Cálculo de la vida media.

$$\mu = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) + \gamma$$

1+(1/β)	1.1527	
F.Gamma	0.9330	de tablas
Vida media	μ o MTTF	147.788 días

10.1.6 Cálculo de la vida mediana

$$F(t) = 1 - \varepsilon \left[\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$

FORMULA	50.00%	
OBJETIVO	50%	
Vida Mediana	B50	149.77 días

10.1.7 Cálculo de la vida B10.

FORMULA	10%	
OBJETIVO	10%	
Vida mediana	B10	112.29 días

10.1.8 Cálculo de los valores de las 4 funciones de confiabilidad (Mediante fórmulas de WEIBULL).

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
0	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
12	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
24	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
36	0.00%	0.01%	99.99%	0.000
48	0.01%	0.04%	99.96%	0.000
60	0.02%	0.17%	99.83%	0.000
72	0.05%	0.57%	99.43%	0.001
84	0.12%	1.56%	98.44%	0.001
96	0.25%	3.70%	96.30%	0.003
108	0.46%	7.82%	92.18%	0.005
120	0.75%	14.99%	85.01%	0.009
132	1.11%	26.15%	73.85%	0.015
144	1.43%	41.49%	58.51%	0.024
156	1.54%	59.55%	40.45%	0.038
168	1.32%	77.02%	22.98%	0.057
180	0.83%	90.07%	9.93%	0.084
192	0.35%	97.05%	2.95%	0.120
204	0.09%	99.47%	0.53%	0.168
216	0.01%	99.95%	0.05%	0.231
228	0.00%	100.00%	0.00%	0.312
240	0.00%	100.00%	0.00%	0.415

Tabla 89 Cuatro Funciones de Confiabilidad
(Fuente: Elaboración propia)

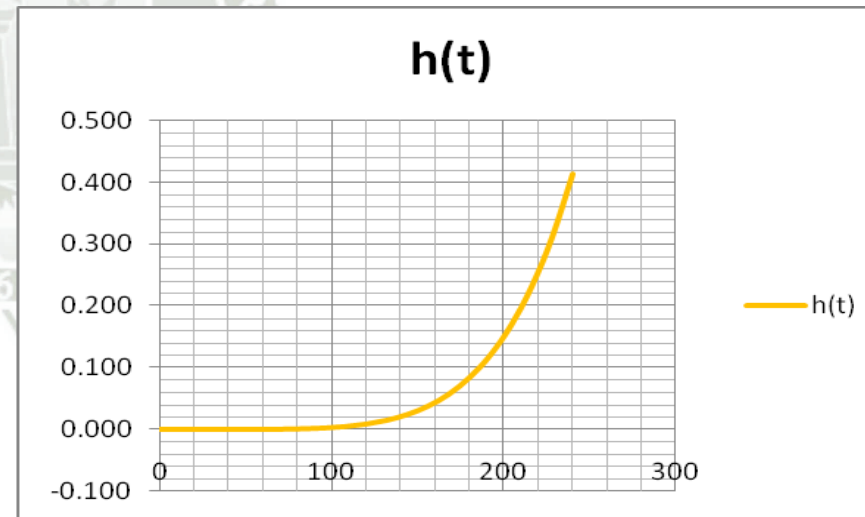
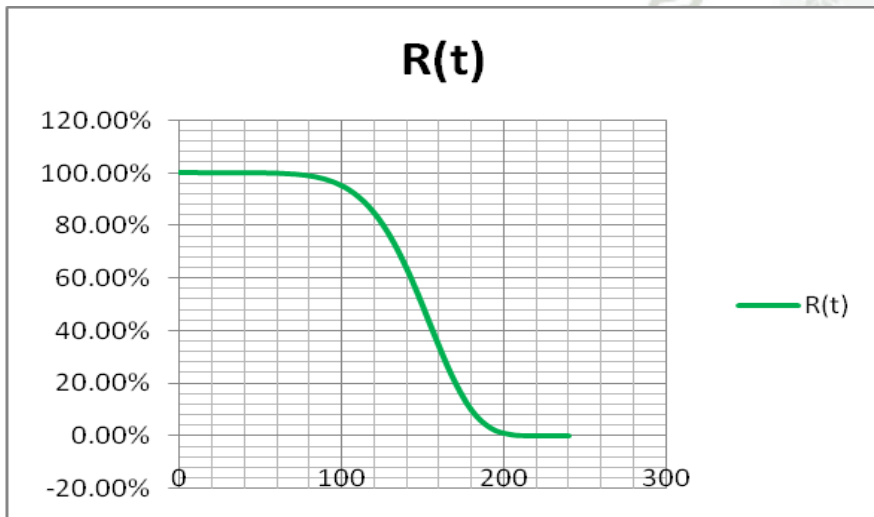
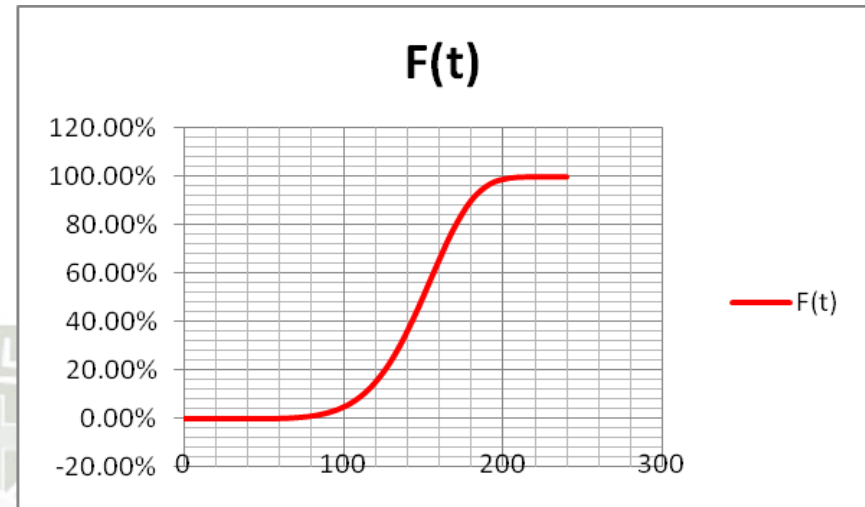
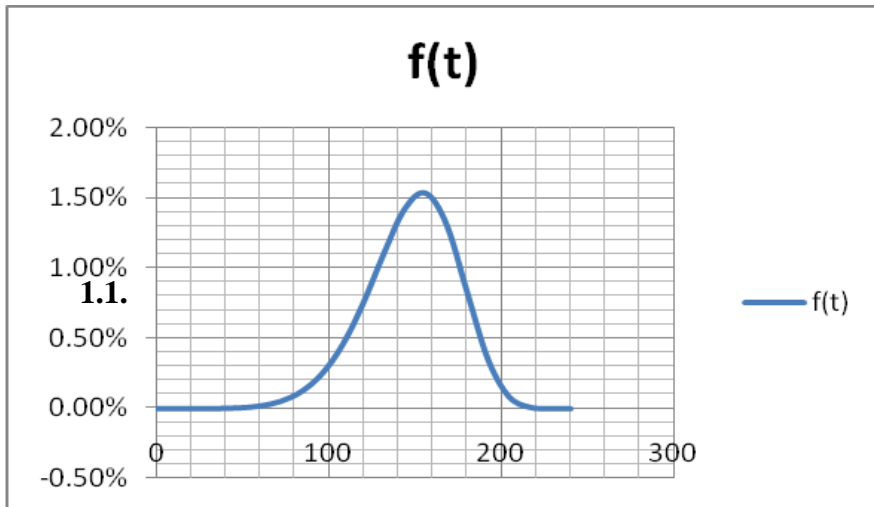


Figura 38 Curvas de cuatro funciones de Confiabilidad

(Fuente: Elaboración Propia)

10.1.9 Confiabilidad para la vida media.

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
147.65	1.49%	46.81%	53.19%	0.028

10.1.10 Análisis de modos y efectos de falla.

MODO DE FALLA	EFEECTO	S	MA	O	NO
Picaduras en elementos rodantes y pistas de rodamientos	No es evidente.				
	No tiene implicancias en seguridad.				
	No tiene implicancias en el Medio Ambiente.	N	N	S	S
	Se reduce el tonelaje procesado de 3,000 a 1,500 ton/h y disminuyendo la calidad del producto en 30%. Para reparar se detiene el equipo por 2 días que demora el cambio de rodamientos implicando a 10 mecánicos en el trabajo.				

Tabla 90 Modos y Efectos de Falla
(Fuente: Elaboración propia)

De los resultados, se concluye que el modo de falla "Picaduras en elementos rodantes y pistas de rodamientos" tiene una consecuencia grave de operación. La factibilidad económica será el factor predominante.

10.1.11 Factibilidad técnica.

El $\beta=6.548$ mayor que 1 nos indica que SI es factible aplicar un Reacondicionamiento o Sustitución cíclica.

Esto también lo verificamos por la tendencia creciente de la función de riesgo h (t).

10.1.12 Factibilidad Económica.

Costo de repuestos	660000	\$
Costos de mano de obra correctivo	3500	\$/mc
Costos de la mano de obra preventivo	120	\$/mp
Costo de desplazamiento	20000	\$/mc
Costo total del lucro cesante	50000	\$/mc
Duración de la tarea correctiva	70	h
Duración de la tarea preventiva	35	h

Tabla 91 Costos de Mtto. Correctivo
(Fuente: Elaboración propia)

$$C(t_p) = \frac{C_t}{L_e} = \frac{C_p R(t_p) + C_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) R(t_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t f(t) dt + T_f [1 - R(t_p)]}$$

Costo de la tarea preventiva	Cp	660120	\$/mp
Costo de la tarea correctiva	Cf	733500	\$/mc
Duración de la tarea preventiva	Tp	1.458	días
Duración de la tarea correctiva	Tf	2.917	días
Tiempo inicial	Inicio Ti	90	días
Diferencial de tiempo	dt	20	días

Tabla 92 Costos de Mtto. Preventivo
(Fuente: Elaboración propia)

tp	f(tp)	t*f(tp)*dt	integral t*f(tp) *dti	F(tp)	R(tp)	\$/día
70	0.04%	0.62082877	0.620828772	0.48%	99.52%	9204.697
90	0.18%	3.15471722	3.775545996	2.44%	97.56%	7111.625
110	0.50%	10.9752738	14.75081977	8.78%	91.22%	5712.669
130	1.05%	27.3039254	42.05474522	23.99%	76.01%	4750.100
150	1.52%	45.5228076	87.57755284	50.35%	49.65%	4243.918
170	1.25%	42.4789791	130.0565319	79.58%	20.42%	4292.657
190	0.42%	16.0362106	146.0927425	96.28%	3.72%	4683.689
210	0.03%	1.4670836	147.5598261	99.82%	0.18%	4861.744
230	0.00%	0.01527237	147.5750985	100.00%	0.00%	4873.941
250	0.00%	6.2255E-06	147.5751047	100.00%	0.00%	4874.021
270	0.00%	2.3164E-11	147.5751047	100.00%	0.00%	4874.021
290	0.00%	1.1346E-19	147.5751047	100.00%	0.00%	4874.021
MIN \$/día						4243.918

Tabla 93 Tabla de frecuencias vs costos
(Fuente: Elaboración propia)

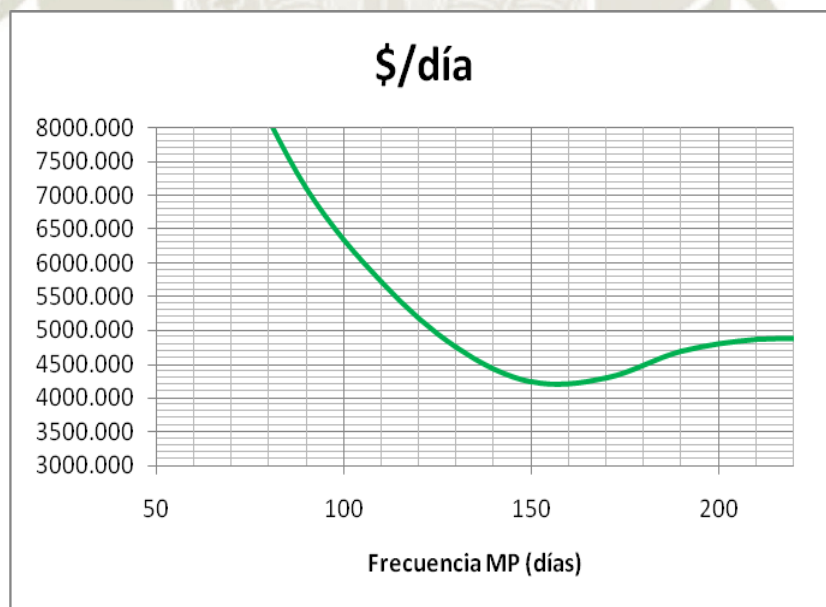


Figura 39 Curva de Frecuencia vs Costos
(Fuente: Elaboración propia)

10.1.13 Frecuencia de mantenimiento correctivo. (Fmp).

fmp	150	días	@	Cmin	4243.918
-----	-----	------	---	------	----------

fmp	f(tp)	F(tp)	R(tp)	h(t)
150	1.52%	50.35%	49.65%	0.031

El fmp sería igual a 150 días costo mínimo de 4243.92 \$/día con un F (t) de 50.35%

TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA

Cambio de rodamientos 150 días

10.1.14 Frecuencia de mantenimiento correctivo. (Fmp).

Se recomienda hacer el seguimiento de la tarea de mantenimiento preventivo por un periodo de dos meses para evaluar la efectividad.

10.2 Desgaste en los Rodillos

i	TO	DIAS	TIPO
1	4820.00	200.83	F
2	5186.00	216.08	F
3	5395.00	224.79	F
4	5586.00	232.75	F
5	6562.00	273.42	F
6	6940.00	289.17	F

Tabla 94 Bitácora de los Rodillos
(Fuente: Elaboración propia)

Considerar:

TO : Tiempo de operación

F : Falla

10.2.1 Cálculo de los parámetros de WEIBULL: Método de los mínimos cuadrados.

	TO	RANGO MEDIANA	X	Y (RANGO MEDIANA			
	DIAS	$(i-0.3)/(N+0.4)$	$\ln(Ti)$	$\ln(\ln(1/(1-F(Ti))))$	$(\ln(Ti))^2$	Yi^2	
i	Ti	F(Ti)	Xi	Yi	Xi ²	Yi ²	Xi*Yi
1	200.83	0.1094	5.3025	-2.1556	28.1162	4.6467	-11.4301
2	216.08	0.2656	5.3757	-1.1753	28.8978	1.3813	-6.3179
3	224.79	0.4219	5.4152	-0.6015	29.3241	0.3619	-3.2575
4	232.75	0.5781	5.4500	-0.1473	29.7021	0.0217	-0.8027
5	273.42	0.7344	5.6110	0.2819	31.4833	0.0795	1.5818
6	289.17	0.8906	5.6670	0.7943	32.1149	0.6310	4.5015
			32.8213	-3.0035	179.6384	7.1219	-15.7248
N	6		XI	YI	Xi ²	Yi ²	Xi*Yi

Tabla 95 Mínimos Cuadrados
(Fuente: Elaboración propia)

10.2.2 Método de regresión lineal.

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^6 (\ln T_i) y_i - (\sum_{i=1}^6 \ln T_i)(\sum_{i=1}^6 y_i) / 6}{\sum_{i=1}^6 (\ln T_i)^2 - (\sum_{i=1}^6 \ln T_i)^2 / 6}$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \bar{y} - \hat{b} \bar{x}$$

De donde:

$$b = 7.1148$$

$$a = -39.4198$$

De la ecuación de la recta: $Y = bX + a$

$$Y = 7.1148X - 39.4198$$

Procedemos a encontrar el parámetro de escala.

$$\hat{\eta} = e^{-\frac{\hat{a}}{\hat{b}}}$$

$$\eta = 254.8234 \text{ días}$$

10.2.3 Aplicando el coeficiente de correlación.

	TO	RANGO MEDIANA	X	Y (RANGO MEDIANA)	Xi PROMEDIO			Yi PROMEDIO			
	DIAS	(i-0.3)/(N+0.4)	ln(Ti)	ln(ln(1/(1-F(Ti))))		Xi-X PROM	(Xi-X PROM)^2		Yi - Y PROM	(Yi-Y PROM)^2	(Xi-X PROM)*(Yi-Y PROM)
i	Ti	F(Ti)	Xi	Yi							
1	200.83	0.1094	5.3025	-2.1556	5.4702	-0.1677	0.0281	-0.5006	-1.6550	2.7392	0.2776
2	216.08	0.2656	5.3757	-1.1753	5.4702	-0.0945	0.0089	-0.5006	-0.6747	0.4552	0.0638
3	224.79	0.4219	5.4152	-0.6015	5.4702	-0.0550	0.0030	-0.5006	-0.1010	0.0102	0.0056
4	232.75	0.5781	5.4500	-0.1473	5.4702	-0.0202	0.0004	-0.5006	0.3533	0.1248	-0.0072
5	273.42	0.7344	5.6110	0.2819	5.4702	0.1408	0.0198	-0.5006	0.7825	0.6123	0.1102
6	289.17	0.8906	5.6670	0.7943	5.4702	0.1968	0.0387	-0.5006	1.2949	1.6768	0.2548
			32.8213	-3.0035			0.0991			5.6185	0.7048

Tabla 96 Tabla coeficiente de correlación

(Fuente: Elaboración propia)

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \times \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$\hat{\rho} = 0.9447\%$$

10.2.4 Parámetros estimados.

PARAMETRO DE FORMA	β	7.1148	
PARAMETRO DE ESCALA	η	254.8234	días
PARAMETRO DE LOCALIZACION	γ	0.00	días

Siendo $\gamma = 0$, debido a que el coeficiente de correlación es 94.47%, y al ser casi 100% ($\rho=1$), lo cual quiere decir que los datos se ajustan a una recta

10.2.5 Cálculo de la vida media.

$$\mu = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) + \gamma$$

	1+(1/β)	1.14	
	F.Gamma	0.9364	de tablas
Vida media	μ o MTTF	238.62	días

10.2.6 Cálculo de la vida mediana.

$$F(t) = 1 - \varepsilon \left[\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$

	FORMULA	50.00%	
	OBJETIVO	50%	
Vida Mediana	B50	242.09	días

10.2.7 Cálculo de la vida B10.

	FORMULA	10%
	OBJETIVO	10%
Vida Mediana	B10	185.51 días

10.2.8 Cálculo de los valores de las 4 funciones de confiabilidad (Mediante fórmulas de WEIBULL).

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
0	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
17	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
34	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
51	0.00%	0.00%	100.00%	0.000
68	0.00%	0.01%	99.99%	0.000
85	0.00%	0.04%	99.96%	0.000
102	0.01%	0.15%	99.85%	0.000
119	0.03%	0.44%	99.56%	0.000
136	0.06%	1.14%	98.86%	0.001
153	0.12%	2.62%	97.38%	0.001
170	0.22%	5.46%	94.54%	0.002
187	0.38%	10.47%	89.53%	0.004
204	0.58%	18.57%	81.43%	0.007
221	0.81%	30.45%	69.55%	0.012
238	0.99%	45.94%	54.06%	0.018
255	1.03%	63.39%	36.61%	0.028
272	0.85%	79.62%	20.38%	0.042
289	0.52%	91.36%	8.64%	0.060
306	0.22%	97.47%	2.53%	0.085
323	0.05%	99.55%	0.45%	0.119
340	0.01%	99.96%	0.04%	0.163
357	0.00%	100.00%	0.00%	0.219

Tabla 97 Cuatro Funciones de la Confiabilidad
(Fuente: Elaboración propia)

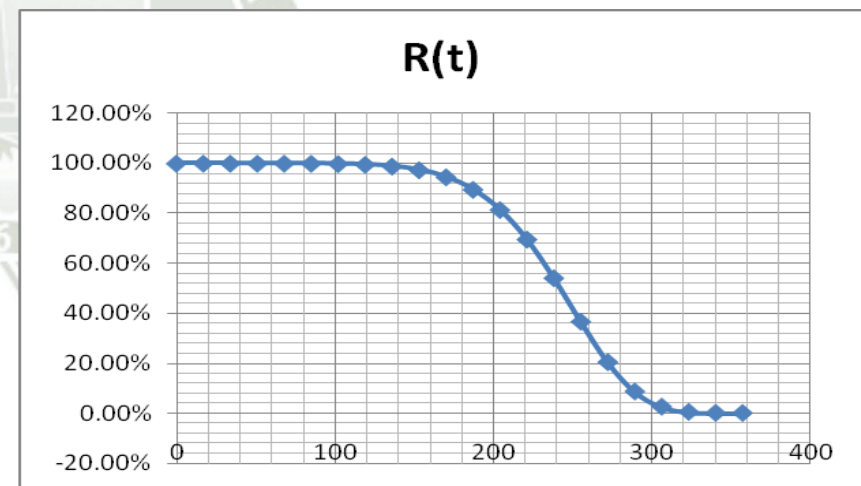
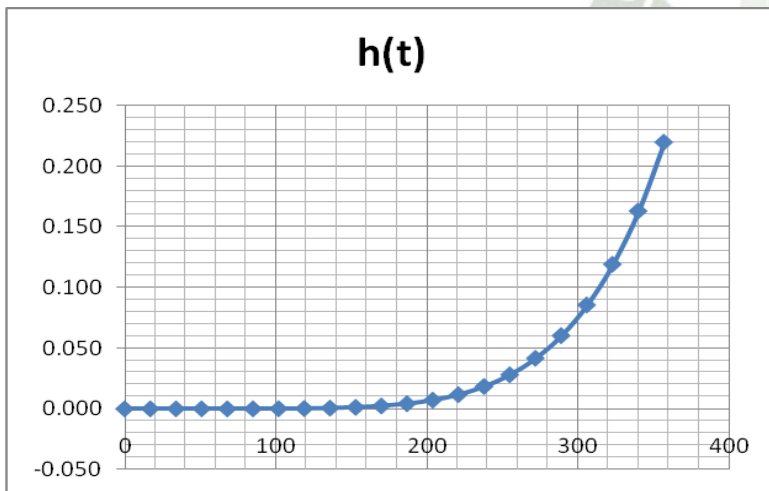
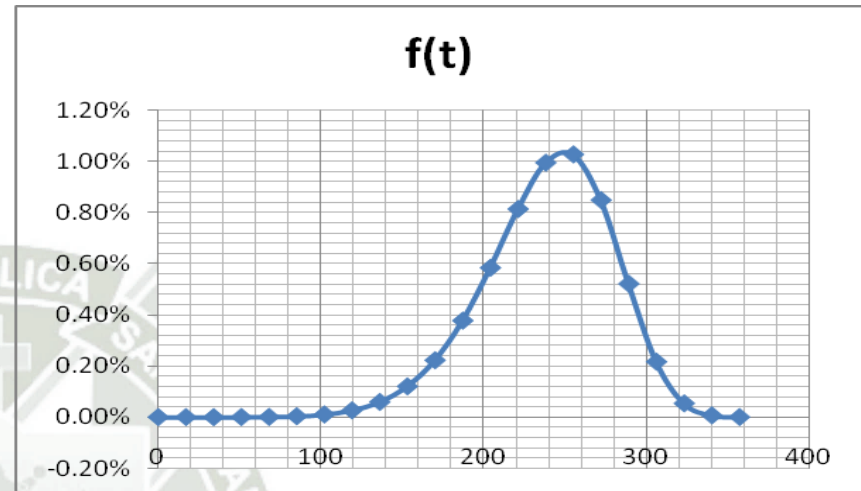
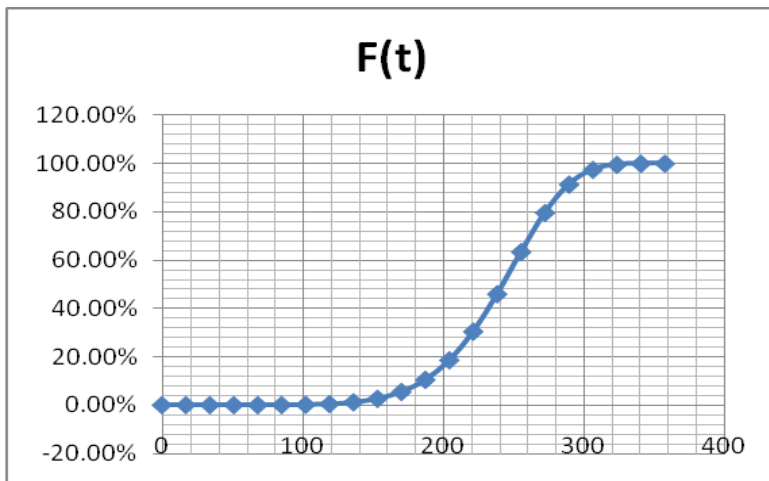


Figura 40 Curva de las cuatro funciones de confiabilidad
(Fuente: Elaboración propia)

10.2.9 Confiabilidad para la vida media.

t	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
238.57	1.00%	46.51%	53.49%	0.019

10.2.10 Análisis de modos y efectos de falla.

MODO DE FALLA	EFEECTO	S	MA	O	NO
Desgaste de los Rodillos	Es evidente. No daña a persona de operación ni a los terceros. No hay contaminación. La máquina tiene que parar aproximadamente 35 horas Se reduce el tonelaje de 3000 ton/hr a 2500 ton/hr y se baja la calidad en un 50% El impacto a la producción es considerable.	N	N	S	S

Tabla 98 Modos y Efectos de Falla
(Fuente: Elaboración propia)

Se concluye que el modo de falla "Desgaste de rodillos" tiene una consecuencia muy grave de operación.

La factibilidad económica será el factor predominante para la toma de la decisión.

10.2.11 Factibilidad Técnica.

El $\beta=6.548$ mayor que 1 nos indica que SI es factible aplicar un Reacondicionamiento o Sustitución cíclica.

Esto también lo verificamos por la tendencia creciente de la función de riesgo h(t).

10.2.12 *Factibilidad Económica.*

Costo de repuestos	660000	\$
Costos de mano de obra correctivo	3500	\$/mc
Costos de la mano de obra preventivo	120	\$/mp
Costo de desplazamiento	20000	\$/mc
Costo total del lucro cesante	50000	\$/mc
Duración de la tarea correctiva	70	h
Duración de la tarea preventiva	35	h

Tabla 99 Costos Mtto. Correctivo
(Fuente: Elaboración propia)

$$C(t_p) = \frac{C_t}{L_e} = \frac{C_p R(t_p) + C_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) R(t_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t f(t) dt + T_f [1 - R(t_p)]}$$

Costo de la tarea preventiva	Cp	660120	\$/mp
Costo de la tarea correctiva	Cf	733500	\$/mc
Duración de la tarea preventiva	Tp	1.458	días
Duración de la tarea correctiva	Tf	2.917	días
Tiempo inicial	Inicio Ti	90	días
Diferencial de tiempo	dt	20	días

Tabla 100 Costos de Mtto. Preventivo
(Fuente: Elaboración propia)

t	f(t)	t*f(t)*dt	integral tf(t)dt	F(t)	R(t)	\$/dia	h(t)
70	0.00%	0.01447973	0.014479732	0.01%	99.99%	9238.89	0.000
90.00	0.00%	0.08651219	0.100991927	0.06%	99.94%	7214.48	0.000
110.00	0.02%	0.35999187	0.460983793	0.25%	99.75%	5914.37	0.000
130.00	0.05%	1.17478758	1.635771371	0.83%	99.17%	5004.44	0.000
150.00	0.11%	3.20431056	4.840081929	2.28%	97.72%	4327.85	0.001
170.00	0.22%	7.55268943	12.39277136	5.46%	94.54%	3802.62	0.002
190.00	0.41%	15.5726967	27.96546802	11.65%	88.35%	3386.40	0.005
210.00	0.66%	27.9100082	55.87547622	22.31%	77.69%	3063.78	0.009
230.00	0.92%	42.3686443	98.24412052	38.26%	61.74%	2840.80	0.015
250.00	1.04%	51.8868933	150.1310138	58.23%	41.77%	2736.13	0.025
270.00	0.88%	47.4783647	197.6093785	77.89%	22.11%	2759.87	0.040
290.00	0.50%	29.0377216	226.6471001	91.87%	8.13%	2875.29	0.062
310.00	0.16%	10.1698885	236.8169885	98.23%	1.77%	2986.11	0.093
330.00	0.03%	1.6569082	238.4738967	99.81%	0.19%	3030.45	0.136
350.00	0.00%	0.09559044	238.5694872	99.99%	0.01%	3037.11	0.194
						2736.13	

Tabla 101 frecuencia vs costos
(Fuente: Elaboración propia)

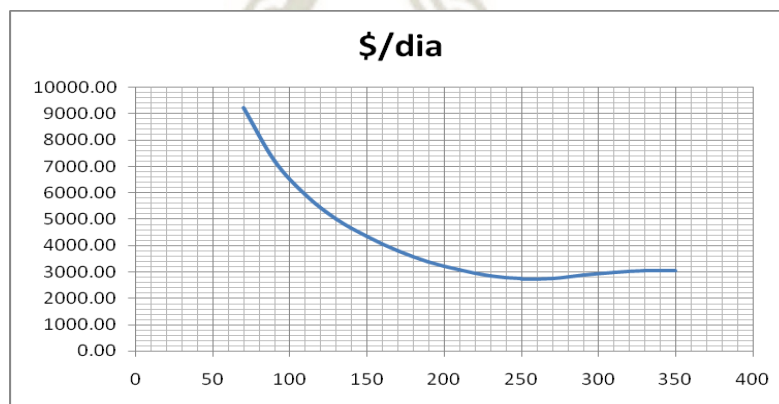


Figura 41 Curva de frecuencia vs costos
(Fuente: Elaboración propia)

10.2.13 Frecuencia de mantenimiento correctivo. (Fmp).

fmp	250	días	@	Cmin	2736.13
-----	-----	------	---	------	---------

fmp	f(tp)	F(tp)	R(tp)	h(t)
250	1.04%	58.23%	41.77%	0.025

El fmp sería igual a 250 días costo mínimo de 2736.13 \$/día con un F(t) de 58.23%

TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA

Cambio de rodillos 250 días

10.2.14 Recomendaciones del Análisis Weibull.

Se recomienda hacer el seguimiento de la tarea de mantenimiento preventivo por un periodo de dos meses para evaluar la efectividad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se realiza el Análisis de Criticidad a todos los activos de la chancadora Terciaria (HPGR), del cual se pueden desprender los siguientes resultados:
 - a. Se tienen 02 equipos altamente críticos.
 - b. Se tienen 07 equipos medianamente críticos.
 - c. Se tienen 03 equipos bajamente críticos.
2. Al clasificar y ordenar los componentes del HPGR (chancadora de rodillos) pudimos encontrar los eventos que causaban una falla funcional en el activo.
3. El AMEF nos permitió identificar los problemas potenciales y sus posibles efectos en el HPGR para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención.
4. Después de realizar el análisis weibull, pudimos encontrar los tiempos óptimos para realizar el cambio de rodillos en 250 días y de los rodamientos en 150 días, logrando programar los mantenimientos en paradas programadas. Por otro lado, mientras más confiable sea la información, se tendrán planes de mantenimiento mucho más óptimos.
5. Se obtuvo una base de tareas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, la cual nos permita hacer un buen diagnóstico y llevar una data histórica de las fallas de los equipos, donde se visualizará la fecha y hora, causa de la misma, adicionalmente, deberá contemplar los costos en que se incurrió (repuestos, mano de obra; entre otros).
6. Luego de realizar un comparativo de escenarios (plan de mantenimiento actual vs plan de mantenimiento RCM), se concluye que la aplicación del RCM genera un panorama financiero bastante optimista, pues se obtiene en un período de 05 años un ahorro de \$ 3, 514,100 de los egresos que se tienen al no aplicar el RCM. Condición definitiva que conlleva a la implementación del RCM en la gestión.

RECOMENDACIONES

1. Con el fin de implementar con éxito un sistema de mantenimiento, será necesario el involucramiento de todo el personal del área, siendo el motor principal del éxito, la Gerencia General. Adicionalmente, para que el proyecto se lleve a cabo, antes de comenzar a ejecutar cualquier plan de gestión de mantenimiento es importante determinar la situación actual, mediante una auditoria de calidad del área de mantenimiento para conocer los aspectos más importantes y determinar las mejoras, fijando objetivos, es decir de acuerdo a los requerimiento de producción así como los objetivos económicos.
2. Se recomienda tener buenas relaciones con aéreas de almacén y compras para el acopio de materiales, desde la salida del proveedor hasta la llegada del material a tiempo a nuestros almacenes para la intervención. Por otro lado, hacer seguimiento en línea de los stocks de los repuestos en almacenes.
3. Es importante tener en cuenta el perfil del personal, cuyas competencias deben estar acorde con los requerimientos del puesto que desempeñan. Asimismo, se debe considerar una evaluación anual, para identificar sus oportunidades de mejora, la cual se verá reflejado en el plan de capacitación anual.
4. Es necesario determinar qué situación ambiental puede o podría causar problemas al desempeño del equipo para tomas las medidas correspondientes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arata, A. (2005). Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento. Santiago de Chile: RIL Editores.
- Compañía Polysius / Thyssenkrupp (2015). Manuales de Instrucción de Montaje, Operación & Mantenimiento de la Chancadora Terciaria.
- International Organization for Standardization (2013). Norma ISO 14224 “Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y Mantenimiento de equipos”. Ginebra.
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Madrid: Aladon LLC. (pp 15 - 68).
- Noria. (2017). El Ciclo de Vida del Activo. Lube tips, (pp 3-4).
- Parra, C. (2006). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM. Bogotá
- Society of Automotive Engineers SAE. (1999). SAE JA1011 “Evaluation Criteria for RCM Process”. North Caroline.
- Society of Automotive Engineers SAE (2002). Norma SAE JA1012 “Guide to the RCM Standar”. North Caroline.