

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**ANÁLISIS DE LAS FALLAS DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC  
24'x36' PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN PLANTAS  
CONCENTRADORAS EN UNA EMPRESA MINERA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**ELABORADO POR:**

**LAUREANO CRISTOBAL ANGEL DALMIRO**

**0009-0002-8642-4754**

**ASESOR**

**M.Sc. Ing. JORGE VERA ERMITAÑO**

**0000-0002-2887-1348**

**LIMA – PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por permitirme ser partícipe de sus enseñanzas. En especial a mis maestros de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Jorge, Vera Ermitaño, docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Sin usted y sus virtudes, su paciencia y constancia, este trabajo no lo hubiese logrado. Sus consejos fueron siempre útiles cuando no salían de mi pensamiento las ideas para escribir lo que hoy he logrado. Usted formó parte importante de esta historia con sus aportes tan profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesite por estar allí, cuando mis horas de trabajo se hacían confusas. Gracias por sus orientaciones.

## RESUMEN

El mineral pétreo se somete en las plantas concentradoras de una empresa minera a una serie de etapas de tratamiento durante la actividad operativa continua, como la trituración, la molienda, la flotación, el espesamiento y el filtrado. Éstas permiten extraer un mineral limpio y no contaminado por fuerzas externas. El objetivo principal de la zona de molienda, que incluye el molino de bolas, es reducir el tamaño del mineral hasta un nivel aceptable. Las bolas de acero llenan el espacio interior del molino de bolas outotec 24'x36', que suele oscilar entre el 30 y el 45% de su capacidad total. Para obtener un resultado satisfactorio, la carga de bolas puede estar formada por bolas de acero del mismo diámetro o por una combinación de diferentes tamaños. El mineral, cuerpos trituradores, el agua y los productos químicos son necesarios, la mezcla de ellos se realiza en el interior del molino de bolas outotec 24'x36' constantemente una vez que éste ha empezado a girar. El problema se basa en las paradas imprevistas del molino de bolas outotec 24'x36' o provocadas por fallos de los componentes, que pueden producirse durante el tiempo de molienda.

Con el fin de sugerir un programa de mantenimiento preventivo y evaluar las averías más frecuentes, en el molino de bolas outotec de 24'x36' este trabajo de investigación es de nivel descriptivo, deductivo y de tipo básico.

Para lo cual se propuso analizar los principales componentes del molino de bolas outotec 24'x36' para verificar el funcionamiento correcto. Asimismo, se presenta el plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec

de 24'x36'. Se basa en la metodología de AMEF, que proporciona los modos de fallo, las causas de fallo y los efectos de fallo. También sugiere las actividades programadas a realizar e intervenir dichos componentes, esto ayudarán a minimizar los fallos descubiertos a mediano plazo y el modo de intervención del molino de bolas outotec de 24'x36' durante el funcionamiento y en paradas de dicho equipo.

Se identificó las fallas con los valores de severidad, ocurrencia y detección de fallas con un número de ranking de 1 al 10 evaluado por cada nivel de fallas de los componentes, esto permitió analizar la prioridad de riesgo de los sistemas de blindaje y sus causas del porque el desgaste de los lifter o levantadores y las recomendaciones de la forma geométrica a usar y el tipo de material adecuado además de los monitoreos del sistema de lubricación, casco, sistema de transmisión, sistema eléctrico y zona de carga y descarga.

Asimismo, el presente trabajo de investigación se enfocó en el diseño de los lifter o levantadores desde el punto de vista energético y granulometría fina, esto quiere decir, mejorar la energía de impacto y el consumo de energía, a través del incremento de las interacciones entre bola-mineral-revestimiento (incrementar la abrasión).

## ABSTRACT

In the concentrator plants of a mining company, the ore is subjected to a series of treatment stages during continuous operation, such as crushing, grinding, flotation, thickening and filtering. These allow the extraction of a clean ore, uncontaminated by external forces. The main objective of the grinding zone, which includes the ball mill, is to reduce the size of the ore to an acceptable level. Steel balls fill the space inside the ball mill, which usually ranges from 30 to 45% of its total capacity. For a satisfactory result, the ball charge can be made up of steel balls of the same diameter or a combination of different sizes. Ore, water and chemicals, if required, are fed into the ball mill once it has started to rotate. The ore and grinding media (steel balls) are constantly mixed during movement within the mill. The problem is based on unplanned stoppages of the ball mill caused by component failures, which can occur in these ball mills during the grinding time.

In order to suggest a preventive maintenance program and evaluate the most frequent breakdowns, in the 24'x36' outotec

ball mill, this research work is descriptive and basic.

For this purpose, it was proposed to analyze the main components of the ball mill to verify the correct operation. Likewise, the preventive maintenance plan of the ball mill is presented. It is based on the FEA methodology, which provides the failure modes, causes and effects. It also suggests the program activities to

be performed, which will help to minimize the failures discovered in the medium term.

The failures were identified with the values of severity, occurrence and detection of failures with a ranking number from 1 to 10 evaluated for each level of failure of the components, this allowed analyzing the order of priority of risk of the components of the shield, mill body, transmission, bearings and discharge zone.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	vi
PRÓLOGO .....	1
CAPITULO I. ....	3
INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Generalidades .....	3
1.1.1. Antecedentes internacionales .....	3
1.1.2. Antecedentes nacionales .....	5
1.2. Descripción del problema de investigación .....	6
1.3. Formulación del problema .....	7
1.3.1. Problema general.....	7
1.3.2. Problema específico .....	7
1.4. Objetivo de la investigación.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos .....	8
1.5. Hipótesis y Operacionalización de variables .....	8
1.5.1. Hipótesis general .....	8
1.5.2. Hipótesis específicas .....	8
1.5.3. Operacionalización de variables .....	9
1.5.4. Variable independiente .....	9
1.5.5. Variable dependiente .....	9
1.5.6. Limitaciones del estudio.....	10



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	11
2.1. Antecedente de la investigación .....	11
2.2. Bases teóricas .....	12
2.2.1. Falla .....	12
2.2.2. Falla potencia .....	12
2.2.3. Falla funcional.....	12
2.2.4. Modos de falla.....	13
2.2.5. Tipos de modo de falla.....	13
2.2.6. Causas de falla .....	16
2.2.7. Efectos de falla .....	16
2.2.8. Evidencia de falla.....	16
2.2.9. Riesgo para la seguridad y medio ambiente .....	17
2.2.10. Acción correctiva.....	17
2.2.11. Análisis de fallas .....	17
2.2.12. Análisis de la causa y efecto.....	18
2.2.13. Disponibilidad mecánica .....	18
2.2.14. MTBF .....	18
2.2.15. MMTR .....	18
2.2.16. Mantenimiento .....	19
2.2.17. Gravedad de fallo.....	19
2.2.18. Mantenimiento proactivo.....	19
2.2.19. Mantenimiento preventivo .....	20
2.2.20. Plan de mantenimiento .....	20
2.2.21. Planta concentradora.....	20

2.3. Bases conceptuales .....	21
2.3.1. Molino de bolas.....	21
2.3.2. AMEF .....	21
2.3.3. Estimación de severidad.....	23
2.3.4. Estimaciones del grado de ocurrencia .....	23
2.3.5. Molienda .....	24
2.3.6. Tipos de accionamiento para molinos.....	26
2.3.7. Función del molino de bolas .....	27
2.3.8. Fallas funcionales .....	27
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	28
3.1. Metodología.....	28
3.2. Método de investigación.....	28
3.3. Tipo y diseño de la investigación:.....	29
3.3.1. Tipo.....	29
3.3.2. Nivel de investigación .....	29
3.3.3. Diseño de investigación .....	29
3.3.4. Unidad de Análisis .....	29
3.4. Etapas de la investigación.....	30
3.4.1. Recolección de datos.....	30
3.4.2. Proceso de recolección de información .....	30
3.4.3. Métodos del procesos y análisis de datos .....	31
3.4.4. El diagrama de bloques .....	31
3.4.5. El análisis de árbol de fallos .....	31
3.4.6. Matriz de Consistencia.....	32
CAPITULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	34

4.1. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).....	37
4.2. Datos técnicos de operación del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	41
4.2.1. Datos técnicos del equipo.....	41
4.2.2. Datos del proceso y operatividad del molino de bolas outotec 24'x36' .....	49
4.3. Diagrama del proceso de concentración de cobre en minera MARCOBRE .....	53
4.4. Principio de funcionamiento del molino de bolas outotec de 24'x36'.....	53
4.4.1. Diagrama funcional de bloques del molino de bolas outotec 24'x36' .....	55
4.5. Análisis de criticidad de los componentes del molino de bolas outotec 24'x36' .....	56
4.6. Descripción de los sistemas del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	59
4.6.1. Sistema eléctrico.....	59
4.6.2 Sistema de transmisión.....	63
4.6.3. Sistema carga y descarga .....	64
4.6.4. Sistema de soporte .....	66
4.6.5. Sistema de lubricación.....	66
4.6.6. Sistema de calentamiento o enfriamiento .....	68
4.6.7. Sistema inching drive.....	68
4.7. Revestimiento del molino de bolas outotec 24'x36' .....	69
4.7.1. Complemento para el cambio de revestimientos del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	71
4.7.1.1. Perno cabeza oval .....	71
4.7.1.2. Perno de cabeza avellanada .....	71

4.7.1.3. Tuerca hexagonal .....	71
4.8. Tipos de recubrimientos para el molino de bolas outotec 24'x36' .....	72
4.9. Componentes principales del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	72
4.9.1. Motor eléctrico .....	72
4.9.2. Reductor de velocidad principal.....	72
4.9.3. Contraeje .....	73
4.9.4. Corona y piñón.....	73
4.9.5. Chumaceras .....	74
4.9.6. Cuerpo o casco.....	74
4.9.7. Spout feeder – Chute de alimentación.....	75
4.9.8. Tapa.....	76
4.9.9. Trommel.....	77
4.9.10. Chaquetas o forros .....	79
4.9.11. Cuerpos trituradores - Bolas de acero .....	79
4.9.12. Trunnion de carga y descarga .....	82
4.9.13. Bomba de tornillo de lubricación trunnion bearing .....	82
4.9.14. Bomba de engranaje de lubricación del motor.....	83
4.9.15. Motor auxiliar .....	84
4.9.16. Reductor auxiliar .....	85
4.9.17. Zapatas hidrostáticas.....	85
4.9.18. Lifter .....	86
4.9.19. Liners .....	87
4.10. Modo de falla.....	89
4.11. Efecto de falla.....	89
4.12. Causas de la falla.....	90

4.13. Árboles de falla de los modos correctivos más críticos del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	94
4.14. Número de prioridad de riesgo (NPR) .....	102
4.15. Diagrama de flujo para desarrollar el AMEF .....	104
4.16. Propuesta para el plan de mantenimiento preventivo .....	107
CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIONES DE LOS RESULTADOS .....	108
5.1. Resultados del AMEF por los sistemas del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	108
5.2. AMEF del sistema eléctrico del molino de bolas outotec 24'x36' .....	109
5.3. AMEF del sistema de transmisión del molino de bolas outotec 24'x36' ..	110
5.4. AMEF del sistema de carga y descarga del molino de bolas outotec 24'x36' .....	113
5.5. AMEF del sistema de soporte del molino de bolas outotec 24'x36' .....	115
5.6. AMEF del sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36' ...	117
5.7. AMEF del sistema inching drive del molino de bolas outotec 24'x36' .....	120
5.8. Presentación del plan de mantenimiento preventivo .....	123
5.8.1. Tareas del operador.....	127
5.8.2. Curvas de control del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	128
5.9. Desgaste de revestimientos (chaquetas) y su impacto en la operación del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	134
5.9.1. Movimiento de la carga en catarata. ....	134
5.9.2. Movimiento de la carga en cascada.....	134
5.10. Formas geométricas del lifter más usuales del molino de bolas outotec 24'x36' .....	136

5.11. Reemplazo de componentes de revestimiento del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	141
5.12. Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	145
5.13. Hojas de verificación de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec de 24'x36' .....	150
5.14. Pruebas de hipótesis .....	181
5.15. Discusión y análisis de los resultados del AMEF .....	181
5.16. Aportes y aplicaciones.....	189
CONCLUSIONES.....	191
RECOMENDACIONES .....	195
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	199
ANEXO .....	202

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1:	Matriz de consistencia.....	33
Tabla N° 2.	Molino de bolas outotec 24'x36' – General.....	41
Tabla N° 3.	Casco del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	41
Tabla N° 4.	Cabezal - muñón del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	42
Tabla N° 5.	Cojinetes principales del molino de bolas outotec 24'x36'.....	42
Tabla N° 6.	Datos del conjunto de canaleta de carga y carro de rodadura del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	42
Tabla N° 7.	Conjunto de imán del muñón del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	43
Tabla N° 8.	Revestimiento del molino de bolas outotec 24'x36'.....	43
Tabla N° 9.	Freno hidráulico del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	44
Tabla N° 10.	Datos del sistema de lubricación de los cojinetes principales del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	44
Tabla N° 11.	Datos del sistema de gato hidráulico para los bastidores del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	45
Tabla N° 12.	Sistema de gato hidráulico y unidad de la bomba para el ajuste de la almohadilla del cojinete del molino de bolas outotec 24'x36'...	45

Tabla N° 13. Sistema de lubricación portátil para el montaje del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	46
Tabla N° 14. Especificaciones de los materiales del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	46
Tabla N° 15. Dimensiones físicas y peso de los componentes del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	48
Tabla N° 16. Operatividad del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	49
Tabla N° 17. Carga de mineral al molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	49
Tabla N° 18. Requisitos operativos del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	50
Tabla N°19: Matriz de criticidad para el molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	57
Tabla N°20: Matriz de valores para criticidad del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	58
Tabla N°21: Determinación de los criterios de criticidad para el molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	58
Tabla N°22: Valor de la criticidad del molino de bolas outotec 24'x36' . . . . .	59
Tabla N°23: Composición química de bolas de acero que intervienen en el proceso de molienda. . . . .	80
Tabla N°24: Dureza Rockwell de las bolas de acero . . . . .	80
Tabla N°25: Modos de fallas de sistemas del molino de bolas outotec de 24'x36' . . . . .	91
Tabla N°26: Efectos de falla del sistema del molino de bolas outotec de 24'x36' . . . . .	92
Tabla N°27: Causas de la falla del molino de bolas outotec de 24'x36' . . . . .	93



Tabla N°28: Criterio NPR para severidad. ....	102
Tabla N°29: Criterio NPR para ocurrencia. ....	103
Tabla N°30: Criterio NPR para detección.....	104
Tabla N°32: AMEF para motor eléctrico del molino de bolas outotec 24'x36' .....	109
Tabla N°33: AMEF para reductor principal del molino de bolas outotec 24'x36' .....	110
Tabla N°34: AMEF para contraeje del molino de bolas outotec 24'x36'.....	111
Tabla N°35: AMEF para catalina del molino de bolas outotec 24'x36' .....	112
Tabla N°36: AMEF para spout feeder del molino de bolas outotec 24'x36' . .	113
Tabla N°37: AMEF para trommel del molino de bolas outotec 24'x36' . ....	114
Tabla N°38: AMEF para trunnion de carga del molino de bolas outotec 24'x36' .....	115
Tabla N°39: AMEF para trunnion de descarga del molino de bolas outotec 24'x36' .....	116
Tabla N°40: AMEF para bomba de tornillo de lubricación trunnion bearing - motor del molino de bolas outotec 24'x36' . ....	117
Tabla N°41: AMEF para la bomba de engranajes del motor del molino de bolas outotec 24'x36' .....	118
Tabla N°42: AMEF para bomba de engranajes de recirculación del molino de bolas outotec 24'x36' .....	119
Tabla N°43: AMEF para motor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'.	120

Tabla N°44: AMEF para reductor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'.....	121
Tabla N°45: AMEF para recubrimientos del molino de bolas outotec 24'x36'.....	122
Tabla N°46: Cuadro comparativo entre levantadores – finos producidos – energía específica. Molino de bolas outotec 24'x36'. .....	140
Tabla N°47: Plan de mantenimiento preventivo para el molino de bolas outotec 24'x36'.....	146
Tabla N°48: Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec 24'x36'.....	147
Tabla N°49: Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec 24'x36'.....	148
Tabla N°50: Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec 24'x36'.....	149
Tabla N°51: Estado total de las fallas con NPR del molino de bolas outotec 24'x36'.....	181

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N°1:</b>	Plano de operaciones de mina MARCOBRE- Planta de sulfuros .....	36
<b>Figura N° 2:</b>	Esquema del proceso de AMEF para el molino de bolas outotec de 24'x36'.....	40
<b>Figura N°3:</b>	Componentes principales del molino de bolas outotec 24'x36'. 50	
<b>Figura N°4:</b>	Molino de bolas outotec de 24'x36'. .....	51
<b>Figura N°5:</b>	Molino de bolas outotec de 24'x36'. .....	51
<b>Figura N°6:</b>	Molino de bolas outotec de 24'x36'. .....	52
<b>Figura N°7:</b>	Molino de bolas outotec de 24'x36'. .....	52
<b>Figura N°8:</b>	Confiabilidad operacional para realizar un mejor manejo de criticidad.....	56
<b>Figura N°9:</b>	Panel de control del molino de bolas outotec de 24'x36'.....	60
<b>Figura N°10:</b>	Verificación de componentes del molino de bolas outotec de 24'x36' en el panel central modo Inch mode. ....	60
<b>Figura N°11:</b>	Verificación de componentes del molino de bolas outotec 24'x36' en el panel central modo mill mode.....	61

<b>Figura N°12:</b> Motor eléctrico principal del molino de bolas de 11.931 kW. ....	61
<b>Figura N°13:</b> Verificación de componentes del molino de bolas outotec de 24'x36'.....	62
<b>Figura N°14:</b> Verificación de componentes del molino de bolas outotec de 24'x36'.....	62
<b>Figura N°15:</b> Sistema de transmisión catalina-piñón del molino de bolas outotec 24'x36'.....	63
<b>Figura N°16:</b> Sistema de transmisión del molino de bolas outotec 24'x36'. ...	64
<b>Figura N°17:</b> Sistema de carga del molino de bolas outotec 24'x36'.....	65
<b>Figura N°18:</b> Sistema de descarga del molino de bolas outotec 24'x36'.....	65
<b>Figura N°19:</b> Sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	67
<b>Figura N°20:</b> Sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	67
<b>Figura N°21:</b> Sistema de sensores de temperatura del molino de bolas outotec 24'x36'.....	68
<b>Figura N°22:</b> Sistema Inching drive del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	69
<b>Figura N°23:</b> Recubrimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36' .....	70
<b>Figura N°24:</b> Recubrimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	70
<b>Figura N°25:</b> Pernos avellanadas del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	72
<b>Figura N°26:</b> Corona y piñón del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	73
<b>Figura N°27:</b> Chumaceras del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	74
<b>Figura N°28:</b> Chute de alimentación del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	75
<b>Figura N°29:</b> Zona de descarga spout feeder del molino de bolas outotec 24'x36'.....	76
<b>Figura N°30:</b> Tapa del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	76
<b>Figura N°31:</b> Trommel del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	77

<b>Figura N°32:</b> Trommel del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	78
<b>Figura N°33:</b> Mantenimiento de trommel del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	78
<b>Figura N°34:</b> Chaquetas del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	79
<b>Figura N°35:</b> Diferentes diámetros en el interior del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	81
<b>Figura N°36:</b> Deformación de las bolas de acero del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	81
<b>Figura N°37:</b> Bomba de tornillos de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	83
<b>Figura N°38:</b> Bomba de engranajes de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	84
<b>Figura N°39:</b> Motor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	84
<b>Figura N°40:</b> Reductor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	85
<b>Figura N°41:</b> Zapatas hidrostáticas del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	85
<b>Figura N°42:</b> Lifter o levantadores del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	86
<b>Figura N°43:</b> Levantadores de caucho del molino de bolas outotec 24'x36'. .	87
<b>Figura N°44:</b> Liners o chutes del cilindro del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	88
<b>Figura N°45:</b> Revestimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'. .....	89
<b>Figura N°46:</b> Árbol de falla general del molino de bolas outotec de 24'x36'. – Condiciones de parar el equipo. ....	94
<b>Figura N°47:</b> Árbol de fallas del piñón. ....	95
<b>Figura N°48:</b> Árbol de fallas de molienda de mineral y equipo. ....	96
<b>Figura N°49:</b> Árbol de fallas general del sistema de lubricación. ....	97

<b>Figura N°50:</b>	Árbol de fallas del sistema de lubricación piñón – corona.....	98
<b>Figura N°51:</b>	Árbol de falla bomba de baja presión.....	99
<b>Figura N°52:</b>	Árbol de falla bomba de alta presión.....	100
<b>Figura N°53:</b>	Árbol de falla en descarga.....	101
<b>Figura N°54:</b>	Flujograma del proceso para obtención del AMEF. ....	106
<b>Figura N°55:</b>	Propuesta de plan de mantenimiento preventivo. ....	107
<b>Figura N°56:</b>	Curvas de control del molino de bolas outotec de 24'x36'. ....	128
<b>Figura N°57:</b>	Tipos de movimiento de carga del molino de bolas outotec 24'x36'.....	135
<b>Figura N°58:</b>	Movimiento de carga de mineral en el interior del casco del molino de bolas outotec 24'x36'. (cascada – catarata). ....	135
<b>Figura N°59:</b>	Revestimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'.....	136
<b>Figura N°60:</b>	Geometría de levantadores del molino de bolas outotec 24'x36'. ....	139
<b>Figura N°61:</b>	Geometría de levantadores del molino de bolas outotec de 24'x36'.....	140
<b>Figura N°62:</b>	Maquina enlainadora marca brokk 160, usado en el recubrimiento de liners. ....	141
<b>Figura N°63:</b>	Número de prioridad de riesgo del sistema eléctrico. ....	182
<b>Figura N°64:</b>	Número de prioridad de riesgo del sistema de transmisión. ...	182
<b>Figura N°65:</b>	Número de prioridad de riesgo del sistema de carga y descarga. ....	182
<b>Figura N°66:</b>	Número de prioridad de riesgo del sistema de soporte.....	183
<b>Figura N°67:</b>	Número de prioridad de riesgo del sistema de lubricación.....	183
<b>Figura N°68:</b>	Número de prioridad de riesgo sistema inching drive. ....	183

<b>Figura N°69:</b> Número de prioridad de riesgo sistema de recubrimiento.....	184
<b>Figura N°70:</b> Estado total de fallas con NPR del molino de bolas outotec 24'x36'.....	184
<b>Figura N°71:</b> Porcentaje de falla de cada componente del molino de bolas outotec 24'x36' desarrollado por el AMEF. ....	185
<b>Figura N°72:</b> Estado porcentual de riesgo de falla del molino de bolas outotec de 24'x36'.....	186

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1:	Clasificación de trituración de mineral en molienda .....	25
Cuadro N°2:	Formato de gestión AMEF en procesos.....	39
Cuadro N°3:	Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.....	151
Cuadro N°4:	Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.....	152
Cuadro N°5:	Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.....	153
Cuadro N°6:	Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.....	154
Cuadro N°7:	Tareas de mantenimiento preventivo de sistema de lubricación .....	155
Cuadro N°8:	Tareas de mantenimiento preventivo de sistema de lubricación .....	156
Cuadro N°9:	Tareas de mantenimiento preventivo sistema de disco de frenos.....	157



Cuadro N°10: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema de disco de frenos .....	158
Cuadro N°11: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema de disco de frenos .....	159
Cuadro N°12: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	160
Cuadro N°13: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	161
Cuadro N°14: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	162
Cuadro N°15: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	163
Cuadro N°16: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	164
Cuadro N°17: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	165
Cuadro N°18: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico .....	166
Cuadro N°19: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico .....	167
Cuadro N°20: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico. ....	168
Cuadro N°21: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	169
Cuadro N°22: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	170
Cuadro N°23: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	171
Cuadro N°24: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	172
Cuadro N°25: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	173
Cuadro N°26: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	174

Cuadro N°27: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	175
Cuadro N°28: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	176
Cuadro N°29: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	177
Cuadro N°30: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	178
Cuadro N°31: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	179
Cuadro N°32: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.....	180
Cuadro N°33: Componente y causas de revestimiento interno .....	190
Cuadro N°34: Parámetros antes de utilizar el AMEF .....	193
Cuadro N°35: Después de utilizar el AMEF .....	194

## PRÓLOGO

El proyecto de investigación “Análisis de las fallas del molino de bolas outotec de 24’x36’ para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera”, fue desarrollado para encontrar defectos de alto riesgo en los componentes del molino de bolas outotec de 24’x36’ que impiden su funcionamiento adecuado y paradas no deseadas.

Con el objetivo de conseguir una granulometría adecuada, es necesario que el mineral pase a través de etapas donde va a reducir su tamaño en ciertos rangos dependiendo del equipo utilizado para esta acción, estas etapas son: chancado y molienda.

El capítulo I trata de los temas generales en el que se explica los antecedentes investigativos nacionales e internacionales relacionados al tema de investigación del molino de bolas en diversas unidades mineras; asimismo, se hace la descripción general del problema y los objetivos de la tesis planteada.

En capítulo II se detalla el marco teórico en el que se discute en detalle investigaciones relevantes relacionado sobre el tema, asimismo, se fundamenta el marco conceptual en el que se define la terminología utilizada en el proyecto de investigación.

En el capítulo III se determinó la metodología aplicada en el trabajo de investigación. Asimismo, el tipo de investigación, la unidad de análisis, las etapas de la investigación y la matriz de consistencia.

En el capítulo IV se desarrolla el trabajo de investigación utilizando las tablas de efecto, causas y modos de falla (AMEF). Y de las descripciones de los componentes fundamentales del molino de bolas outotec de 24’x36’. Asimismo,

se desarrolla los diferentes diagramas de árbol de falla de los componentes más críticos que se dedujo gracias a las tablas de efecto, causa y modos de falla.

En el capítulo V se analizan los resultados del AMEF por los diferentes sistemas que conforman el molino de bolas outotec de 24'x36' y el valor de severidad de cada sistema del molino de bolas outotec de 24'x36' utilizando el NPR. Finalmente, se presentan las conclusiones, las recomendaciones y las referencias bibliográficas.

## CAPITULO I.

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Generalidades

##### 1.1.1. Antecedentes internacionales

Bian et al. (2017), desarrollaron el artículo titulado “*Efecto de los elevadores y la velocidad del molino en el comportamiento de las partículas, el par y el consumo de energía de un molino de bolas giratorio: estudio experimental y simulación DEM*”. Los autores explican que la molienda y la trituración consumen la mayor cantidad de energía para el procesamiento de los minerales. Asimismo, el molino de bolas es un equipo crucial para moler minerales hasta reducirlos a un tamaño de partícula menor. Por otro lado, el consumo de energía del molino de bolas es una de las medidas más importantes cuando se diseña el molino de bolas, ya que garantiza un buen funcionamiento de las partes del molino de bolas. Por ello, en el estudio se utiliza un método para simular los procesos de trabajo del molino de bolas, proporcionando resultados de investigación muy valiosos. Los resultados que obtuvieron fue el comportamiento de todas las partículas y el consumo de energía y una comparación de todos los resultados de la simulación realizada. Por ende, todos los comportamientos de las partículas se controlan cualitativamente.

Alcantará Valladares (2008), realizó la tesis de Licenciatura titulada “*Diseño práctico de un molino de bolas*”, sustentado en el Instituto Politécnico Nacional, México. El estudio presentó como objetivo principal, proporcionar un análisis teórico sobre las maquinarias de molienda, las cuales se trabajaron en la industria, incluidos sus componentes y el modo de su funcionamiento.

También destaca la importancia del mantenimiento del molino para conservarlo en excelente estado y evitar pérdidas de producción. Con el fin de aplicar los conocimientos fundamentales ofrecidos en la obra de forma ordenada, sucinta y clara en beneficio de las generaciones futuras, se pretende que el estudio se utilice como manual de referencia.

Sáez et al. (2013), elaboró la tesis de Licenciatura titulada “*Detección de anomalías en el molino de bolas usando modelos no-paramétricos*”, sustentado en la Universidad de Chile. El estudio señala que La industria minera se ha comprometido a aumentar la competencia en el mercado, lo que ha creado un entorno esencial para desarrollar planes y mejorar las prácticas de producción con el fin de hacer frente a posibles problemas. Como resultado, ha sido importante integrar enfoques de mantenimiento predictivo en el ámbito del mantenimiento, donde los sistemas desempeñan un papel significativo y pueden mejorar tareas como la predicción y/o detección de anomalías y fallos. La contribución de la investigación se enfatiza en esta situación ya que el objetivo principal es sugerir una herramienta para llevar a cabo la identificación de anomalías en molinos de bolas. Por lo tanto, El estudio se centra en el caso de un molino de bolas con velocidad y potencia nominales de 100 rpm y 12 MW, cuya característica clave es el accionamiento que funciona como motor síncrono, que presenta un inconveniente y manifiesta fallos de forma diferente a otros molinos.

Un ejemplo es la posibilidad de que se quemen sus polos magnéticos, que es lo más probable. De ahí que este mecanismo de fallo motive este esfuerzo, cuyo objetivo es identificar la anomalía señalada mediante la creación de procedimientos de residuos y modelos de análisis. Para el entrenamiento de

los residuos se utilizaron modelos basados en la similitud (SBM). Después, se llevó a cabo un proceso que utilizó métodos estadísticos multivariantes como el análisis de componentes principales, produciendo errores relativos un 0,88% inferiores a la media y un 3,69% inferiores a los producidos por el modelo de regresión lineal, que se utilizó para calcular el error relativo medio. En relación con el enfoque de identificación de anomalías, se empleó un sistema basado en histogramas de errores, que se utilizan para comparar el vector residual generado a partir de un grupo de datos y que se señalan como fallos potenciales. El análisis se basa en las funciones de distribución (Chi-cuadrado), con un umbral de significación del 95%, lo que arroja una eficacia del 100%. Al analizar las anomalías y fallos en otras máquinas, el trabajo establece la relevancia analítica.

### **1.1.2. Antecedentes nacionales**

Allpoc Ramos y Parraga Olivera (2008), en su tesis de Licenciatura titulada *“Incremento de la capacidad de molienda mediante el empleo de zarandas de alta frecuencia en el circuito molienda-clasificación en la compañía minera Milpo-Unidad”*. El objetivo del estudio era aumentar la capacidad de molienda reduciendo la carga de circulación y, en consecuencia, el consumo de energía eléctrica. Asimismo, la reducción de la carga de circulación y el aumento de la capacidad de molienda conllevarán una disminución de la cantidad de energía eléctrica utilizada, lo que reducirá los gastos operativos de la entidad y aumentará sus beneficios económicos. La evaluación e investigación del rendimiento metalúrgico del circuito de molienda-clasificación implicó el uso de cribas de alta frecuencia (HFS) en lugar de hidrociclones con el fin de mejorar la

recuperación de concentrado, reducir la carga de circulación y aumentar la capacidad de molienda.

Zamudio y Jackson (2016), desarrolló la tesis de Licenciatura titulada *“Análisis de fallas de los equipos críticos de molienda y flotación para reducir las pérdidas de producción en la unidad minera de Yauliyacu”*. Según la investigación, el nuevo ciclo y plan de mantenimiento propuestos disminuían los costes de mantenimiento, lo que suponía una mejora significativa para los equipos que ya se acercan al final de su vida útil. Sus ganancias aumentarían como resultado de tener menos tiempo de mantenimiento no programado.

En su investigación expone que los riesgos operativos en Hudbay - Unidad Minera Constancia, fueron mínimos desde el momento en que se adoptó el mantenimiento predictivo, gracias a la pronta identificación de fallas, la cual evitó una destrucción catastrófica de activos (en particular, los molinos SAG, cuya criticidad se calificó de Alta) e interrupciones imprevistas con largos plazos de logística, provocados por la adquisición de piezas de recambio.

## **1.2. Descripción del problema de investigación**

El estudio realizado en las paradas de plantas periódicas de procesamiento de minerales de la compañía minera MARCOBRE, la unidad que se observó fue el molino de bolas outotec de 24'x36', los cuales fueron analizados los componentes más críticos, su mantenimiento y cambio de componentes. Estos problemas llevaron a investigar más a fondo los modos de falla y sus causas y las consecuencias de las fallas del molino de bolas outotec de 24'x36'.

Por ello se necesita un análisis de las fallas del molino de bolas outotec 24'x36' para evaluar las partes internas y externas más importantes de dicho



molino como son: revestimiento interno (liners y lifter), tapas de descarga y alimentación (Headplaté), cuerpo de molino (Shell), chutes de descarga y alimentación, chumaceras, trunnion de alimentación y descarga, disco de freno, trommel, sistema motriz (motor y anillos), pernos de sujeción y bolas de acero, los cuales permiten mejorar la trituración del mineral dentro del molino de bolas outotec de 24'x36' y lograr la separación óptima en el siguiente proceso de flotación para luego obtener minerales valiosos. Asimismo, tener una alta disponibilidad y confiabilidad para la operación de la planta concentradora de minerales, aumentar el rendimiento, prolongar la vida útil y el tiempo de funcionamiento, reducir los costes y riesgos de mantenimiento y utilizar la menor cantidad de energía posible.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo analizar las fallas del molino de bolas outotec de 24'x36' y sus chaquetas para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera?

#### **1.3.2. Problema específico**

- ¿Cómo analizar las fallas del molino de bolas outotec de 24'x36' para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera?
- ¿Cómo analizar las fallas de chaquetas del molino de bolas outotec de 24'x36' para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera?

## **1.4. Objetivo de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar las fallas del molino de bolas outotec de 24'x36' y sus chaquetas para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar las fallas de molino de bolas outotec de 24'x36' para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera.
- Analizar las fallas de chaquetas del molino de bolas outotec de 24'x36' para incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera.

## **1.5. Hipótesis y Operacionalización de variables**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Mediante el análisis de las fallas del molino de bolas outotec de 24'x36' y sus chaquetas se logrará incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera. El AMEF se utiliza para realizar el análisis de fallos del molino de bolas outotec de 24'x36' con el objetivo de recomendar un programa de mantenimiento preventivo.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- Mediante el análisis de las fallas de molino de bolas outotec de 24'x36' se logrará incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.

- Mediante el análisis de chaquetas de molino de bolas outotec de 24'x36' se logrará incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.

### **1.5.3. Operalización de variables**

Los datos e información de la recopilación son analizados para determinar todas las fallas encontradas y poder identificar el funcionamiento de todas las partes y componentes más críticos del molino de bolas outotec de 24'x36'.

### **1.5.4. Variable independiente**

“Los parámetros del molino de bolas outotec de 24'x36' incluyen la velocidad crítica, la relación entre los componentes variables del molino, el mayor tamaño admisible para las bolas de molienda, el volumen de carga, la potencia suministrada y el tipo de molienda”.

### **1.5.5. Variable dependiente**

Rendimiento del molino de bolas outotec de 24'x36': La cantidad de mineral que se puede moler en términos de toneladas programadas y reales.

Variable independiente.  Fallas de parámetros del molino de bolas outotec de 24'x36'.

La variable del trabajo de investigación es independiente ya que las fallas del molino de bolas outotec de 24'x36' necesitan ser verificados, analizados y determinados cada uno de los componentes más críticos que lo conforman.

### **1.5.6. Limitaciones del estudio**

Los componentes más importantes del molino de bolas outotec de 24'x36' se identificaron mediante un análisis de criticidad, y a raíz de estos resultados se creó un plan de mantenimiento preventivo, ya que no existe ningún análisis de fallos (AMEF) previo que pueda utilizarse como punto de partida o referencia.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

Este capítulo del trabajo de investigación cubre temas relacionados a las fallas de los componentes del molino de bolas outotec de 24'x36' en la planta concentradora de la unidad minera MARCOBRE. Se obtuvo la información antecedente de libros, artículos, informes, monografías y tesis de fuentes confiables.

### **2.1. Antecedente de la investigación**

Zamudio y Jackson (2016), en su tesis *“Análisis de fallas de los equipos críticos de flotación para reducir las pérdidas de producción en la unidad minera de Yauliyacu”*, enfatizan que para los equipos que se acercan al final de su vida útil, el nuevo ciclo y plan de mantenimiento propuestos supusieron una mejora significativa al reducir los gastos de mantenimiento. Sus ganancias aumentarían como resultado de tener menos tiempos de mantenimiento no programados. Para crear mi propia ficha y poder llevar a cabo el análisis de mi estudio, me he servido de ella como referencia y he utilizado la estructura de la ficha AMEF como ejemplo.

Víctor Hugo González (2006), en su tesis *“Propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipo ferroviario limpia vías rock – loader de la unidad quebrada e teniente Codelco – Chile”*, explica que la importancia de crear y aplicar una cultura de adaptabilidad en los miembros del personal asignados a las tareas de mantenimiento, ya que también fueron un componente crucial de la creación de este enfoque AMEF.

Dado que se utilizará los fundamentos conceptuales del método AMEF para la construcción del estudio, esta referencia fue útil en la investigación.

Algorta (2006), en su tesis *“Análisis de falla de una pieza en una empresa automotriz”*, señalan que más del 80% de las situaciones, el dispositivo de ajuste, el Roll-Forming, debe corregirse debido a la influencia de una pieza de estanqueidad entre el marco y la puerta que se instaló incorrectamente debido al montaje correcto obvio de la pieza y provocó fugas en el interior del vehículo. Dado que utilizaré los fundamentos conceptuales de la técnica AMEF para la construcción de mi estudio, esta referencia fue útil en mi investigación.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Falla**

Medina (2016), contextualiza la palabra falla, como aquella incapacidad del activo para llevar a cabo cualquiera de sus funciones. Por ende, se considera a todas las condiciones indeseables del equipo o sistema. En las siguientes líneas, se presenta los tipos de fallas:

### **2.2.2. Falla potencia**

Medina (2016), se trata de un suceso en el que se detecta una degradación pequeña, la cual es medible, pero que sigue cumpliendo su función y no repercute en la demanda de producción. Este tipo de falla suele pasar desapercibido para los empleados de producción. Por tanto, el mantenimiento predictivo es una estrategia y una respuesta clave en esta situación.

### **2.2.3. Falla funcional**

Medina (2016), se caracteriza por no cumplir su función, sin embargo, no implica que el activo deje de producir. Por lo tanto, es relevante determinar los requerimientos del rendimiento esperado. Es una

señal o suceso que el personal de producción y mantenimiento pueden observar.

#### **2.2.4. Modos de falla**

Según Castellanos Elías (2013), manifiesta que es la forma en que un producto o procedimiento, podría dejar de funcionar o dejar de cumplir un requisito del proceso. Un modo de falla es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar. Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar. Una definición clara y comprensible del fallo es crucial, ya que ayuda a concentrar correctamente el análisis. Los posibles modos de fallo deben explicarse en términos técnicos y no sólo en términos de un síntoma notificado por el cliente

#### **2.2.5. Tipos de modo de falla**

De acuerdo a la postura de John Moubray (2004), llamamos modo de falla al fenómeno responsable del evento o condición de falla. Existen varias tendencias para tratar los modos de fallas, una aconseja el reducir los modos de falla a 5 tipos; falla total, falla parcial, falla intermitente, falla gradual y Sobre funcionamiento. Entre tanto los analistas de transmisión mecánica, cuentan con los siguientes modos de falla; fractura por fatiga, desgaste adhesivo, desgaste abrasivo, corrosión generalizada y por picadura, creep y creep-fatiga.

Algunas personas creen que el mantenimiento sólo se lleva a cabo para detener el deterioro. Otros van un paso más allá y afirman que, al realizar un AMEF en un activo, sólo deben tenerse en cuenta los modos de fallo provocados por el deterioro, y que no deben tenerse en cuenta

todos los demás tipos de modos de fallo (como los errores humanos y de desafío). Por desgracia, esto no es cierto, ya que una parte sorprendentemente pequeña de los fallos son causados realmente por la degradación.

#### **2.2.5.1. Deterioro**

Desde el punto de vista de Moubray (2004), explica que el activo en contacto con el mundo real está sometido a diversos factores de estrés. El deterioro incluye todo tipo de desgaste ordinario (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación del aislante, etc.). Cuando se considera suficientemente probable que se produzcan, es indudable que determinados modos de fallo pueden figurar entre los modos de fallo. A continuación, se indica el nivel de detalle que debe utilizarse para describirlos.

#### **2.2.5.2. Falla de lubricación**

John Moubray (2004), enfatizan que existen dos modos de fallo distintos relacionados con la lubricación. El primero es el resultado de una falta de lubricante, y el segundo es el resultado de un fallo del lubricante. En los últimos 20 años, han cambiado muchas cosas en relación con el problema de la falta de lubricante. Hace veinte años, la mayoría de los puntos de lubricación se llenaban manualmente. Si se compara con el gasto que suponía no lubricar cada uno de estos puntos, el coste de hacerlo era extremadamente barato. También era barato si se comparaba con el precio de examinar a fondo las necesidades de lubricación de cada punto. Todo ello llevó a la conclusión de que no era necesario realizar una investigación exhaustiva para determinar los programas de lubricación.



#### **2.2.5.3. Polvo o suciedad**

John Moubray (2004), explica que uno de los principales motivos de avería es la suciedad o el polvo. Las máquinas se ven directamente obstaculizadas por él, lo que provoca que se atasquen, obstruyan o bloqueen. También es la razón principal por la que fallan con frecuencia las funciones relacionadas con el aspecto de los activos (cosas que deberían parecer limpias están sucias). Además de producir problemas de alineación en las máquinas - herramientas, la suciedad también puede tener un efecto adverso en la calidad de los productos, así como en los sistemas de lubricación de las máquinas. Por tanto, cuando se considere que la suciedad puede causar algún fallo funcional, los fallos provocados por la suciedad deben documentarse en el análisis modal de fallos y efectos (AMFE).

#### **2.2.5.4. Errores humanos**

Según John Moubray (2004), estos errores hacen que la capacidad del proceso disminuya hasta el punto de que ya no puede satisfacer las necesidades del usuario.

#### **2.2.5.5. Falla de lubricación**

John Moubray (2004), señala que cuando se pone en servicio un activo físico, el rendimiento deseado está dentro de su capacidad, pero aumenta gradualmente hasta que supera ese límite. Esto provoca que el activo físico falle de determinadas maneras a medida que aumenta el rendimiento exigido hasta que ya no puede soportarlo. Alternativamente, el aumento de la tensión hace que el deterioro se acelere hasta el punto en que el activo físico ya no puede soportarlo.

#### **2.2.5.6. Capacidad inicial**

Según John Moubray (2004), la capacidad inicial debe permitir el rendimiento necesario. También se hizo hincapié en que la mayoría de los activos entran dentro de esta idea, y que un problema de incapacidad normalmente sólo afecta a uno o dos componentes de un activo físico, si es que nunca afecta a todo el activo.

#### **2.2.6. Causas de falla**

Castellanos Elías (2013), señala que la posible causa de un fallo se define como un indicio de cómo podría producirse y se explica en términos de cualquier cosa que pudiera evitarse o gestionarse. Un fallo de diseño derivado del propio modo de fallo podría ser una causa potencial de un fallo. Existe una conexión directa entre una causa y el modo de fallo que produce (es decir, si se produce la causa, se produce el modo de fallo). Es posible identificar controles y planes de acción adecuados identificando con suficiente profundidad las causas raíz del modo de fallo. Si hay varias causas, cada una de ellas se examina por separado.

#### **2.2.7. Efectos de falla**

Según Castellanos Elías (2013), los efectos de los modos de fallo vistos por el cliente se denominan efectos potenciales del fallo. Las repercusiones o efectos del fallo se explican en términos de lo que el cliente podría observar o sentir. Pueden considerarse clientes tanto los usuarios internos como externos finales.

#### **2.2.8. Evidencia de falla**

John Moubray (2004), los fallos deben caracterizarse de forma que permitan a los analistas de RCM determinar si las condiciones normales

de funcionamiento revelarán la pérdida de función provocada por ese modo de fallo actuando por sí solo.

### **2.2.9. Riesgo para la seguridad y medio ambiente**

Según John Moubray (2004), la formulación del efecto del fallo debe aclarar cómo podría ocurrir. Existe la posibilidad de que alguien resulte herido o muera como consecuencia directa de un fallo, o de que se infrinja una ley o norma medioambiental. Algunos ejemplos son el riesgo elevado de incendio o explosión, el vertido de sustancias potencialmente peligrosas, la electrocución, la caída de objetos, las explosiones o estallidos (en particular los que afectan a recipientes a presión y sistemas hidráulicos) y la exposición a materiales calientes o fundidos.

### **2.2.10. Acción correctiva**

John Moubray (2004), las consecuencias de los fallos también deben mostrar lo que hay que hacer para solucionar el problema. Esto debe incluirse cuando se haga referencia al tiempo de inactividad.

### **2.2.11. Análisis de fallas**

Según el autor Cajachagua Aire (2021), el análisis de fallas es un método que utiliza un grupo de técnicas o procesos para identificar la raíz de las causas o fallas del molino de bolas. Asimismo, en este trabajo de investigación se han utilizado las causas de las fallas. Es un proceso de identificar las condiciones o acciones peligrosas, las cuales son los factores contribuyentes, que juntos, conducen a un evento indeseable.

### **2.2.12. Análisis de la causa y efecto**

Esta parte fue la que ayudó a secuenciar gráficamente el análisis de las diferentes partes principales del molino de bolas y hacer una comparación entre dichas partes internas y externas del molino de bolas de manera cualitativa. También, se analizó los desgastes o tiempo de vida útil de dichos componentes internos para su evaluación y ver las causas y efectos que producen en el molino de bolas, hasta llegar a la raíz de la falla del molino de bolas. Sin embargo, se debe tener en cuenta siempre que un efecto puede tener más de una causa, por ende, el análisis se convierte en un árbol lógico de fallas.

### **2.2.13. Disponibilidad mecánica**

John Moubray (2004), la relación entre las horas de trabajo y el tiempo de reparación se conoce como disponibilidad mecánica. Se calcula para un periodo concreto dividiendo el número total de horas trabajadas por el número total de horas dedicadas a paradas mecánicas.

### **2.2.14. MTBF**

John Moubray (2004), deducen que el tiempo medio entre fallos (MTBF) se aplica a los sistemas que se pueden reparar. En este tiempo medio no se incluyen el tiempo de espera para las reparaciones, el tiempo que tardan en completarse, el tiempo que tardan en recalificarse y otras incidencias como las inspecciones y el mantenimiento preventivo.

### **2.2.15. MMTR**

John Moubray (2004), el valor medio de vida útil dada una distribución de tiempos de reparación es el tiempo medio de reparación.

Se tarda una media de ese tiempo en reparar o sustituir un componente averiado.

$$\text{Disponibilidad mecánica} = \frac{\text{horas trabajadas}}{\text{horas trabajadas} + \text{horas de reparación}}$$

$$\text{Disponibilidad mecánica} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Horas de reparaciones}}{\text{Número de paradas}}$$

#### **2.2.16. Mantenimiento**

Según Cesar Arróspide (2008), el mantenimiento se define comúnmente como un conjunto de técnicas destinadas a mantener los equipos e instalaciones industriales en servicio el mayor tiempo posible (buscando la máxima disponibilidad) y con un rendimiento óptimo.

#### **2.2.17. Gravedad de fallo**

Cesar Arróspide (2008), señala el análisis de fallos es la recopilación, el análisis, la revisión y la clasificación de los fallos con el fin de identificar las tendencias y el bajo rendimiento de las piezas y componentes del sistema.

#### **2.2.18. Mantenimiento proactivo**

Según el autor Cesar Arróspide (2008), el mantenimiento proactivo es una técnica que se centra en identificar y corregir las causas profundas de los fallos en equipos, componentes e instalaciones industriales. Esta

técnica aplica soluciones dirigidas al origen de los problemas y no a los síntomas.

### **2.2.19. Mantenimiento preventivo**

John Moubrey (2004), exponen que el mantenimiento preventivo consiste en reacondicionar o sustituir componentes a intervalos predeterminados. Reparar lo que falla o ha fallado es lo que implica el mantenimiento correctivo. Sin embargo, hay un gran grupo de tareas de mantenimiento que no encajan en ninguna de estas categorías. Por ejemplo, cuando activamos la alarma de incendios con regularidad, no comprobamos si ha fallado. No la estamos reacondicionando, sustituyendo ni reparando. Sólo comprobamos si sigue funcionando. Las tareas de localización de fallos o comprobaciones funcionales son tareas diseñadas para determinar si algo sigue operativo o no.

### **2.2.20. Plan de mantenimiento**

John Moubrey (2004), un plan de mantenimiento es un documento que enumera un conjunto de tareas de mantenimiento que deben realizarse en un activo específico con una frecuencia determinada por una persona con un nivel de conocimientos específico. Se trata de un conjunto de tareas bien estructurado y documentado que incluye las actividades, procedimientos, recursos y plazos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento.

### **2.2.21. Planta concentradora**

Una planta concentradora es un tipo de planta metalúrgica que procesa el mineral para extraer el concentrado. En otras palabras, prepara los minerales extraídos de los yacimientos y los convierte en productos

aptos para los procesos de la metalurgia extractiva. El material extraído de los yacimientos se trata mediante una planta de concentrados. Se procesan a través de diversas máquinas para obtener concentrados, que son productos valiosos que pueden comercializarse.

La planta concentradora está compuesta por lo general por la molienda, flotación, espesamiento - filtro y tanque de relaves.

## **2.3. Bases conceptuales**

### **2.3.1. Molino de bolas**

Según Yanarico Pauro (2018), los molinos de bolas, también conocidos como pellets, son tambores giratorios en los que se utilizan bolas de metal como material de molienda libre. La materia abrasiva se levanta por la rotación del tambor y el esmerilado se realiza mediante una mezcla de impacto. Las superficies internas de la planta están protegidas contra el desgaste mediante los motores de anillo.

Según Laura Huamani (2018), en la molienda y mezcla de materiales para su uso en procesos de mezcla de minerales, una máquina cilíndrica de tipo rotativo accionada por un sistema de transmisión formado por una corona y un piñón accionados a su vez por un motor eléctrico funciona según el principio de impacto y fricción. La reducción de tamaño se obtiene por impacto al caer las bolas de acero desde la parte superior del cilindro contra el mineral.

### **2.3.2. AMEF**

Bestraten y Orriols (2006), define que el análisis modal de fallos y efectos (AMEF) es una herramienta que se utiliza para identificar los problemas que se puedan suscitar en un proceso, producto o servicio, con el fin de eliminarlo, o mitigar su efecto que perjudique eventualmente al cliente final. Para ello se debe

realizar su implementación partiendo de la identificación de todos los posibles fallos existentes y categorizándolos según su prioridad, de esta manera se puede focalizar su acción sobre aquellos que perjudiquen en mayor grado a la unidad en estudio.

En principio se debe determinar si la metodología se va a aplicar en un proyecto, producto, proceso o servicio, siendo esto de gran importancia a la hora de iniciar el análisis, por lo que se debe identificar todas las partes que lo conforman con el fin de definir de manera adecuada sobre que secciones se realizará el respectivo análisis. Puede existir la posibilidad que luego de realizar el análisis del modo de fallo, este produzca muchos efectos siendo estos los que el cliente llega a percibir, en ese caso se debe escoger los que sean más graves y ellos serán evaluados.

Es importante señalar que un modo de fallo puede ser consecuencia de dos o más causas encadenadas unas con otras que al final desembocan en el mal funcionamiento.

Según la etapa analizada se debe identificar los siguientes aspectos:

- Modo de fallo, que es la forma en que el fallo se presenta.
- Efecto de fallo, siendo la consecuencia una vez que se ha producido el modo de fallo.
- Causa de fallo, puede ser situación o incluso persona que ha ocasionado que el fallo se produzca.

#### **2.3.2.1. Principales tipos de AMEF**

- ❖ **Productos:** El AMEF aplicado a un producto sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en



el usuario o en el proceso de producción. Se usa después de que las funciones del producto son definidas, aunque sea antes de que el diseño sea aprobado y entregado.

- ❖ **Procesos:** El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso. Evalúa cada proceso y sus respectivos elementos.
- ❖ **Sistemas:** El AMEF aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño del software, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento. Se usa en la etapa de concepción de la ingeniería básica del producto. Además, asegura la compatibilidad de los subsistemas del sistema.

### **2.3.3. Estimación de severidad**

Hinojosa Quispe (2017), severidad es el rango asociado con el más serio efecto para un modo de falla dado. La Severidad es un rango relativo dentro del alcance del AMEF particular. Puede lograrse una reducción en el índice del rango de severidad a través de un cambio en el diseño del sistema, subsistema o componente, o a través de rediseño del proceso mismo.

### **2.3.4. Estimaciones del grado de ocurrencia**

Aguilar-Otero (2010), la ocurrencia es la probabilidad de que una causa/mecanismo específico de una falla ocurra. El número o rango de probabilidad de ocurrencia tiene un significado relativo más que un valor absoluto. Previniendo o controlando las causas/mecanismos de una falla a

través de cambios en el diseño o proceso es la única forma en que pueden lograrse una reducción en el rango de ocurrencia.

### **2.3.5. Molienda**

Gamboa Montalvo (2018), el autor explica en su trabajo de investigación que la molienda de los minerales es almacenada y procesada mediante la molienda húmeda por los molinos de bolas, la molienda por vía húmeda no necesita captadores de polvo y existe menos calentamiento de los equipos, la molienda por vía húmeda tiene un mayor desgaste de los cuerpos moledores y blindajes que la molienda por vía seca principalmente debido a la corrosión hasta 6 u 8 veces superior. También precisa que la molienda húmeda utiliza menos energía por tonelada de mineral tratado la humedad disminuye la resistencia de los fragmentos, además precisa, que existen sustancias que reaccionan con el agua, produciéndose cambios físico-químicos.

La molienda es la última etapa del proceso de conminución o fragmentación para la reducción del tamaño de las partículas.

La molienda se puede realizar por vía seca o por vía húmeda:

#### **Vía seca**

- ✓ Molienda de materiales prácticamente secos (2 % de agua) o con una determinada humedad (30 % de agua).
- ✓ Produce un menor desgaste de los revestimientos internos y medios de molienda (bolas de acero).

#### **Vía húmeda**

- ✓ Molienda de materiales que forman una pulpa (30-300 % de agua).

- ✓ Tiene menor consumo de energía por tonelada de mineral tratada, haciendo que la molienda sea más eficiente. Además, minimiza problemas de polvo y de ruido.

Se puede encontrar también la siguiente clasificación según el tamaño de salida del producto:

**Cuadro N°1:** *Clasificación de trituración de mineral en molienda*

	Tamaño de entrada	Tamaño de salida
<b>Trituración primaria</b>	Trozos grandes	<100 mm
<b>Trituración secundaria</b>	<100 mm	<25 mm
<b>Trituración terciaria</b>	<25 mm	< 10 mm
<b>Molienda</b>	<10 mm	Tamaño final

**Fuente:** <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10414/1/16041.pdf>

Villanueva Condori (2020), en su proyecto de tesis, explica las definiciones de las moliendas del molino de bolas.

- **Molienda autógena AG**

En este punto, el mineral se tritura en un molino sin la ayuda de ningún otro agente de molienda que no sea el mismo mineral. Por otro lado, el mineral es una mina individual o material que anteriormente ha sido triturado en forma gruesa.

- **Molienda semi autógena SAG**

La fragmentación del mineral es causada por la interacción del propio mineral y una pequeña parte de las bolas de acero.

- **Molienda pebbles**

Anteriormente, el mineral fino o grueso se lleva a un molino que utiliza piedras como medio de la molienda. El molino de bolas es apropiado para moler los materiales gruesos y finos, ya sean húmedo o secos en circulación cerrada. Se pueden encontrar en diferentes clases de emisión, como rejillas o desbordamientos.

### 2.3.6. Tipos de accionamiento para molinos

Villanueva Condori (2020), explica que una forma de clasificar los molinos es según el tipo de operación; es decir, mecanismo giratorio de tambor o coraza. Solo se considerará esta clasificación para determinada molienda de mineral.

- ***Caja de cambios***

Tradicionalmente los molinos de bolas son accionados por motores asíncronos en (Europa), y por motores síncronos en (Estados Unidos). La transmisión de potencia entre el motor y el cuerpo cilíndrico del molino de bolas es a través de los sistemas mecánicos integrados con varios engranajes.

- ***Motor circular GMD***

Otro método para hacer funcionar el molino es con un motor sin engranajes o de anillo, llamado así porque elimina todos los componentes mecánicos del sistema de accionamiento de los molinos estándar, como la corona, los engranajes, la caja de cambios, los embragues, el eje del motor y los frenos, etc.

### **2.3.7. Función del molino de bolas**

Cajachagua Aire (2021), enfatiza que, en el molino de bolas, cuando el motor de arranque recibe electricidad, el engranaje comienza a moverse, luego se transfiere tanque a la rueda dentada, y el molino comienza a girar sobre sus pasadores de soporte y cojinetes a una velocidad específica para cada tamaño de molino, generalmente llamada velocidad de operación. lo que permite poner en marcha al molino de bolas, a través del sistema de rueda de corona – piñón. Pueden estar fabricadas de acero fundido, acero forjado y éste puede estar aleado al Cr-Mo, para ser resistentes al desgaste por impacto o aleado con Ni (Ni-hard), para ser resistentes a la abrasión.

### **2.3.8. Fallas funcionales**

En la práctica, la definición de las fallas funcionales es algo confusa; porque se aplica al producto como un todo y no distingue entre estados fallidos y los eventos que causan esos estados fallidos. Además, dado que cada activo tiene más de una función, y típicamente cada función tiene más de un estándar de desempeño deseado, es necesario definir e identificar donde ocurre la falla exactamente y cuáles son los elementos que intervienen en dicha falla.

## **CAPITULO III.**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Metodología**

La técnica de investigación, el tipo de investigación, el nivel de investigación, el diseño de la investigación, la unidad de análisis, las fases de la investigación y la matriz de consistencia, son los puntos que desarrolla este capítulo.

#### **3.2. Método de investigación**

La metodología que se utiliza en el presente trabajo es inductiva ya que el procedimiento de análisis se inició con la unidad de observación a las fallas de cada componente correspondiente a los sistemas del molino de bolas outotec 24'x36', luego se estableció la función de estos (trabajo realizado por los componentes que conforman el equipo), y finalmente se definieron sus modos de falla con la pregunta. ¿Qué ocurre cuando falla el componente o sistema analizado? se pregunta a continuación cómo pierde su funcionalidad el componente o sistema. Y, por último, en cuanto a las causas de fallo, ¿dónde se produce el fallo del sistema o componente analizado? Con la ayuda de esta investigación, hemos determinado los parámetros para medir los modos, causas y efectos: el número de prioridad del riesgo. Como ya hemos dicho, identificamos y analizamos secuencialmente desde los componentes más básicos hasta los más complicados para determinar las tareas que deben organizarse en un plan de mantenimiento preventivo.

### 3.3. Tipo y diseño de la investigación:

#### 3.3.1. Tipo

El tipo de investigación es básico, ya que en el estudio actual del molino de bolas outotec de 24'x36' se combinaron la teoría y la información actualizada del deterioro o fallas más críticas, para crear un modelo actualizado que permita estudiar los fallos en cuanto a sus modos, causas y efectos. A partir del cual se recomienda la estrategia de mantenimiento preventivo.

#### 3.3.2. Nivel de investigación

Dado que describiría los fallos presentes en el funcionamiento del molino de bolas outotec de 24'x36' en su estado actual, el nivel de investigación que se alcanzó fue descriptivo.

#### 3.3.3. Diseño de investigación

Dado que los datos del molino de bolas outotec de 24'x36'. Se obtienen como muestra "M" y la observación de la muestra se recoge como muestra "O", el diseño del estudio de investigación es directamente descriptivo simple.

**M**  **O**

Donde:

M: Fallas del molino de bolas outotec de 24'x36'.

O: Observación del molino de bolas outotec de 24'x36'.

#### 3.3.4. Unidad de Análisis

El estudio del molino de bolas outotec de 24'x36' en las instalaciones de la planta concentradora de mineral de la mina

MARACOBRE, es la base del proyecto de investigación. Para este trabajo se utilizó el método AMEF para analizar el modo y efecto de las fallas.

### **3.4. Etapas de la investigación**

#### **3.4.1. Recolección de datos**

En este punto se empieza con la recolección de datos y todas las informaciones relacionadas con el molino de bolas outotec de 24'x36' de la empresa minera. Todos los estudios, las operaciones de los mantenimientos en las paradas que tuvo dicho equipo y las fallas detectadas del molino de bolas outotec de 24'x36' son obtenidos para poder procesarlos.

#### **3.4.2. Proceso de recolección de información**

En este punto se hace una recolección de datos de todas las informaciones actualizadas del molino de bolas outotec de 24'x36', y junto con los anteriores datos recolectados que son proporcionados por el área de planificación y mantenimiento para poder ser evaluadas y detectadas las fallas y hacer las estimaciones del mal funcionamiento del molino de bolas outotec de 24'x36'. Asimismo, para determinar todas las fallas posibles, y así implementar las medidas correctivas necesarias. se realizó las consultas de:

- Estado de funcionamiento del molino de bolas outotec de 24'x36'.
- Estado de revestimiento interno - lifter.



### **3.4.3. Métodos del procesos y análisis de datos**

En el presente trabajo de investigación se recolecta todo los datos e informaciones necesarios del molino de bolas outotec de 24'x36', para ser procesados, analizados y determinar todas las fallas obtenidas.

Antes de diseñar un plan o estrategia de mantenimiento del molino de bolas outotec de 24'x36' es necesario conocer el funcionamiento de este, los fenómenos que provoca su degradación, las eventuales fallas y los componentes más críticos y las estrategias que se usan para su mejor mantenimiento y funcionamiento a cargo de los operadores.

### **3.4.4. El diagrama de bloques**

Es la representación del funcionamiento interno de un sistema, que se hace mediante bloques y sus relaciones, y que, además, definen la organización de todo el proceso interno, sus entradas y sus salidas.

### **3.4.5. El análisis de árbol de fallos**

Es un análisis sistemático que permite identificar la causa raíz de un fallo a través de un diagrama. Un árbol de fallo permite el análisis de una sola ocurrencia indeseada, pero también puede utilizarse sistemáticamente para evaluar el funcionamiento de un conjunto de componentes y las causas posibles del fallo del componente. Este método de análisis es utilizado frecuentemente en campos de la ingeniería de confiabilidad, con objeto de comprender cómo pueden fallar los sistemas que conforman los equipos y para identificar las formas posibles de reducir los riesgos.

#### **3.4.6. Matriz de Consistencia**

En la Tabla 1 se muestra la matriz de consistencia que está conformado por todos los datos importantes del trabajo de investigación.

**Tabla N° 1: Matriz de consistencia.**

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS GENERALES	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	TIPO DE PRUEBA	RECOLECCIÓN DE DATOS
¿Cómo analizar las fallas del molino de bolas outotec de 24'X36' para incrementar la producción en plantas concentradoras?	Analizar las fallas del molino de bolas outotec de 24'X36' y sus chaquetas para incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.	Mediante el análisis de las fallas del molino de bolas outotec de 24'X36' y sus chaquetas se logrará incrementar la producción en plantas concentradoras en una empresa minera.	Fallas funcionales del molino de bolas outotec de 24'X36' .	Prueba de enfoque inductivo, descripción simple para detectar las fallas operacionales del molino de bolas outotec de 24'X36' .	Datos e informaciones consultadas de una planta concentradora de mineral de una empresa minera.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS			
<p><b>1.</b> ¿Cómo analizar las fallas más críticas del molino de bolas outotec de 24'X36' para incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera?</p> <p><b>2.</b> ¿Cómo analizar las fallas de chaquetas del molino de bolas outotec de 24'X36' para incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera?</p>	<p><b>1.</b> Analizar las fallas más críticas del molino de bolas outotec de 24'X36' para incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.</p> <p><b>2.</b> Analizar las fallas de chaquetas del molino de bolas outotec de 24'X36' para incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.</p>	<p><b>1.</b> Mediante el análisis de las fallas más críticas del molino de bolas outotec de 24'X36' se logrará incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.</p> <p><b>2.</b> Mediante el análisis de chaquetas del molino de bolas outotec de 24'X36' se logrará incrementar la producción en las plantas concentradoras en una empresa minera.</p>			

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación se desarrolló con las bases de datos obtenidos de la parte del área de mantenimiento del molino de bolas outotec de 24'x36' - 2223 - ML – 201 – Área Sulfuros, los operadores del molino, el jefe de área B (Molino) – Segunda planta y a la experiencia de mi persona como supervisor mecánico en el mantenimiento de molinos de bolas y molino de barras.

Marcobre S.A.C. es una empresa minera peruana titular de la minera cuprífera Mina Justa. Los accionistas de Marcobre son Minsur S.A. (en adelante “Minsur”) y Cumbres Andinas S.A.C. (en adelante “Cumbres Andinas”), siendo esta última poseedora del 99.9% de las acciones. A su vez, Cumbres Andinas tiene como accionistas a Minsur y Alxar Internacional SpA. Dichas empresas poseen el 60% y 40% de las acciones, respectivamente.

Para el procesamiento del mineral, Mina Justa - MARCOBRE cuenta con dos plantas:

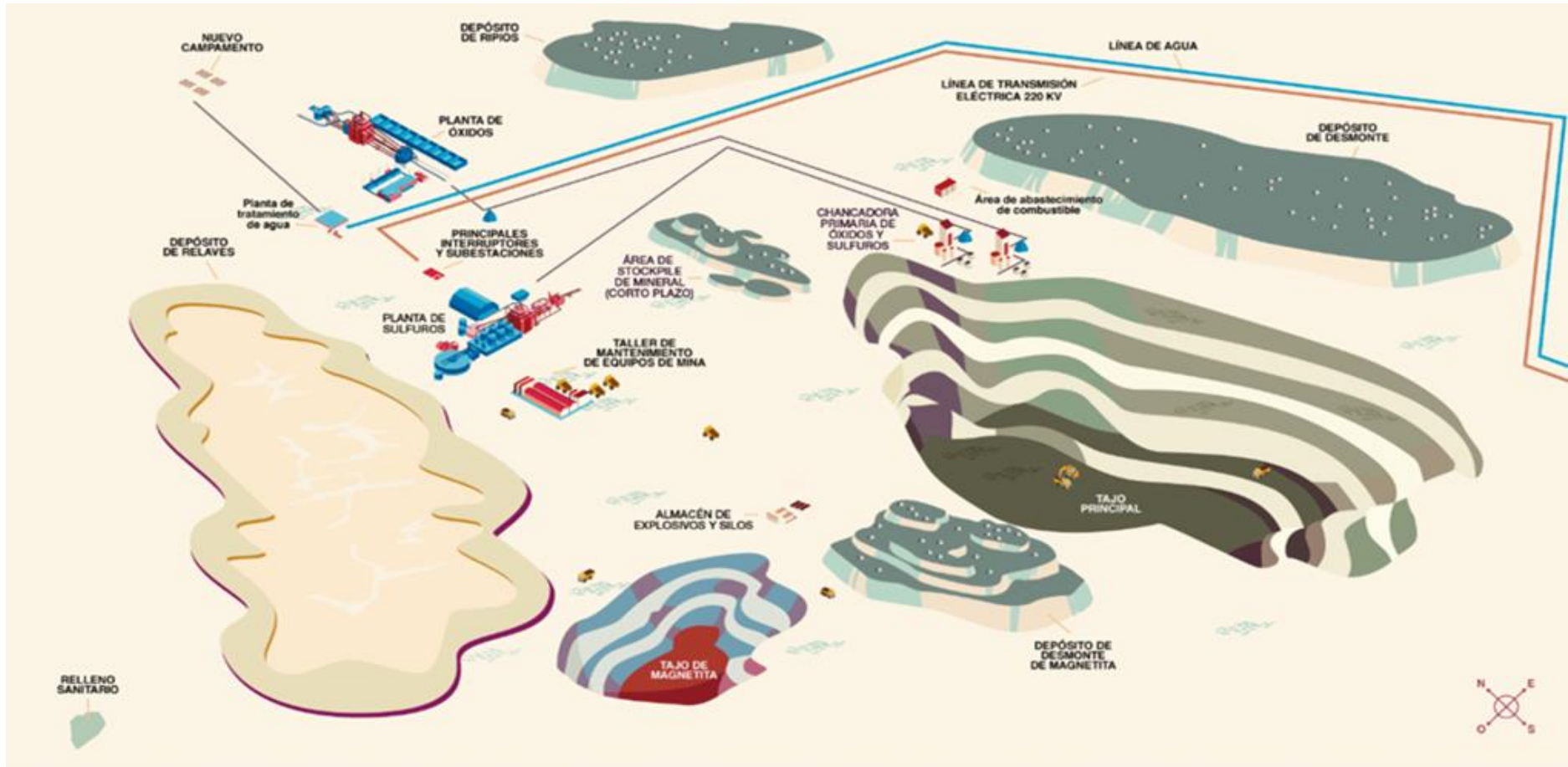
- Planta de Sulfuros: capacidad de procesamiento de 6 millones de toneladas al año, donde se obtiene concentrado de cobre de alta calidad.
- Planta de Óxidos: capacidad de 12 millones de toneladas al año, donde se obtiene cátodos de cobre de alta pureza.

Al culminar los procesos, los cátodos y el concentrado de cobre son trasladados vía terrestre hacia los puertos del Callao y Matarani respectivamente, para su exportación.

Mina Justa está ubicado políticamente en el distrito de Marcona, provincia de Nazca y departamento de Ica, en una zona desértica a 400 km al sureste de

Lima, a 45 km al suroeste de la provincia de Nazca, y a 30 km al noreste del distrito de Marcona. El ámbito de influencia del Proyecto Mina Justa está ubicado a una altitud media de 800 m.s.n.m. Temperatura promedio Verano: 24°C – 30°C e Invierno: 16.8°C.

Figura N°1: Plano de operaciones de mina MARCOBRE- Planta de sulfuros.



Fuente: Área de proyectos mina Justa.

La determinación del molino de bolas outotec de 24'x36', tiene una serie de componentes que están sujetos al desgaste constante por el trabajo que realiza que es la conminución de mineral e incrementar la superficie específica de las partículas, por ejemplo, para acelerar la velocidad de reacción en los procesos de lixiviación, flotación, etc. Por ello se planteó el método de AMEF, que es el análisis de modo y efectos de falla. Ya que tienen el rol de prevenir posibles fallas y dar un adecuado mantenimiento preventivo y correctivo. Al momento de compilar los datos obtenidos en la parada del molino de bolas outotec de 24'x36' se consideran las circunstancias cuales fueron las posibles causas del desgaste o fallo que se aplican en el trabajo de investigación.

#### **4.1. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)**

Es conocido por sus siglas en inglés como Failure Modes and Effects Análisis (FMEA) o el Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), se trata de un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, de este modo, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.

Es un documento dinámico, que admite múltiples revisiones, observaciones y calificaciones de acuerdo al devenir de los procesos y componentes que realizan dichos procesos. Así mismo, se convierte en una fuente invaluable de información relacionada con los equipos, que puedan utilizarse tanto para el despliegue de acciones de prevención, corrección y

mejora; como para la capacitación y formación del personal en temas relacionados con equipos y los procesos.

Un AMEF puede ser descrito como un grupo sistemático de actividades dirigidas a:

- Identificar y evaluar fallas de producto/proceso y efectos de esas fallas.
- Incrementar la confiabilidad del proceso.
- Conseguir procesos de desarrollo más cortos.
- Identificar acciones que pudieran eliminar o reducir la probabilidad de ocurrencia de dichas fallas potenciales.
- Documentar los procesos completos.
- Descripción de los análisis de modos y efectos de fallas.
- Descripción de la causa y efecto de fallas.
- Descripción de los componentes principales y función.
- Las medidas preventivas y correctivas.
- Probabilidad de ocurrencia.
- Controles actuales.
- Evaluación, detección y frecuencia del efecto de falla.

La metodología usada fue AMEF de procesos enfocado en clasificar el orden potencial de deficiencias del producto, proceso, prevención y eliminación de fallas. Listar el flujo del proceso que se esté desarrollando, comenzando desde el abastecimiento de la materia prima iniciado en el chancado primario (molino Zag), hasta la salida de partículas de tamaño micrométricas. Posteriormente la entrega al cliente o siguiente área de proceso.

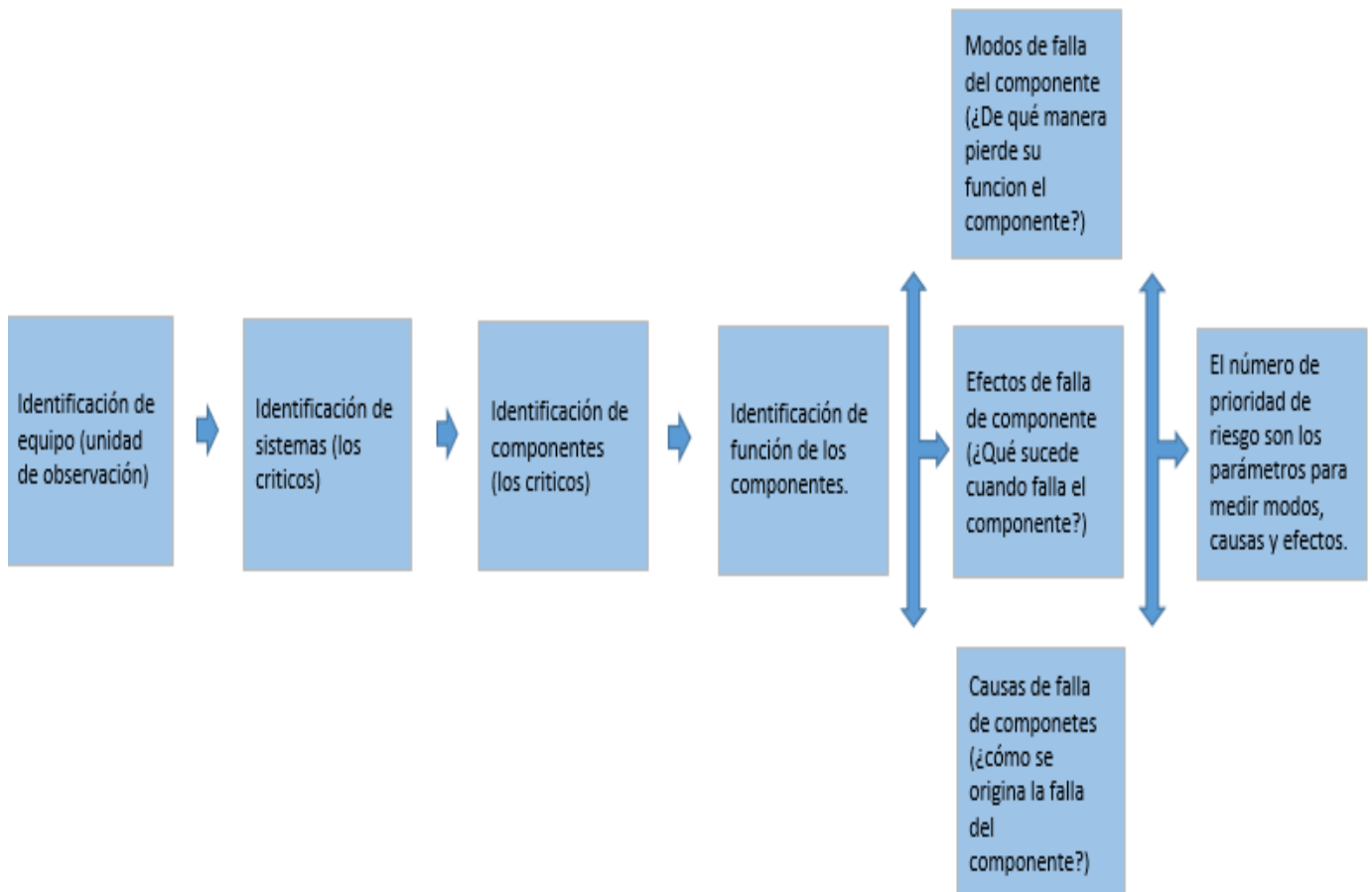


**Cuadro N°2: Formato de gestión AMEF en procesos.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) - PROCESOS																	
Nombre del proceso: <input type="text"/>			Preparado por: _____			N° de AMEF _____											
Equipo Central de Revisión: _____			Fecha Clave _____			Fecha AMEF (Orig): _____			Página _____ de _____								
Función del Proceso /Pasos del Proceso	Requerimiento	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	S E V	Causa(s) potencial de la falla	O C U	Controles actuales del proceso de prevención?	D E T	Controles actuales de detección?	N P R	Acciones recomendadas	Responsabilidad y día de culminación	Resultados de las acciones				
													Acciones tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R
Pasos del proceso a analizar / describir el propósito de dicho paso	Son las entradas especificadas del proceso para cumplir los requerimientos de los clientes	¿De qué maneras puede fallar potencialmente el proceso para cumplir con los requerimientos?	¿Cuál es el efecto o consecuencia del modo de falla en las salidas y/o los requerimientos del cliente?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Cómo puede ocurrir la falla? Describir en términos de algo que se pueda corregir o controlar. Sea Específico.	¿Qué tan frecuente ocurre el modo o causa de la falla?	¿Cuáles son los controles y procedimientos existentes (inspección y prueba) que previenen o detectan la ocurrencia?	¿Qué tan bien se puede detectar la causa o el efecto ?	¿Cuáles son los controles y procedimientos existentes (in spección y prueba) que previenen o detectan la ocurrencia?	SEV x OCU x DET	¿Cuáles son las acciones para reducir la ocurrencia, mejorar la detección o para identificar la causa raíz si es desconocida? Se deben tomar acciones solo en NPR's altos o fáciles de arreglar.	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?	Listar las acciones completas que se incluyeron en el nuevo cálculo del NPR. Incluir el día de implementación para cualquier cambio.	¿Cuál es la nueva severidad?	¿Cuál es la nueva capacidad del proceso?	¿Se mejoraron los límites de detección?	Recalcular NPR después de que se terminen las acciones

Fuente: *Elaboración propia.*

**Figura N° 2:** Esquema del proceso de AMEF para el molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

## 4.2. Datos técnicos de operación del molino de bolas outotec de 24'x36'

El molino de bolas METSO OUTOTEC tiene 7,47 m (24,5 pies) de diámetro y 10,97m (36 pies) de longitud. Se trata de un molino de bolas por desbordamiento – Molienda húmeda.

### 4.2.1. Datos técnicos del equipo

La tabla siguiente incluyen los datos técnicos para el molino de bolas metso outotec 24'x36', número de equipo 2223-ML-201 – Área Sulfuros, en la unidad minera MARCOBRE.

**Tabla N° 2.** *Molino de bolas outotec 24'x36' – General.*

Especificación	Datos
Tamaño del molino	7,47 m (24,5 pies) de diámetro por 10,97 m (36 pies) de longitud
Tipo de molino	Trituración húmeda, descarga por desbordamiento
Tamaño del motor de accionamiento del molino	11.931 kW / 16.000 hp
Tipo de motor de accionamiento del molino	Periférico

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 3.** *Casco del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Especificación	Datos
Diámetro interior	7.465 mm
Longitud	10.965 mm
Longitud eficaz de trituración (EGL)	10.96 mm
Grosor de la placa	90 mm
Especificación de la placa	ASTM A36 para el casco y ASTM A36 Z25 para las bridas normalizadas
Configuración de las bridas	Externa, empernada (casco/cabezal)

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 4. Cabezal - muñón del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Especificación	Datos
Diámetro interior del muñón	3.010 mm
Tipo de muñón	Tipo desmontable para empernar a los cabezales
Especificación de materiales para los cabezales/muñones	Hierro dúctil ASTM A 536 Gr 70-50-05

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 5. Cojinetes principales del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Especificación	Datos
Tipo de cojinete	Hidrostático, de almohadillas múltiples, con cuatro almohadillas por cojinete
Tamaño de cojinete	3.650 mm de diámetro por 790 mm de ancho
Material de los cojinetes	Bronce
Tipo de lubricación de los cojinetes	Hidrostática
Flujo de aceite de lubricación de los cojinetes	90,8 lpm por almohadilla 45,4 lpm por riel de empuje (dos rieles)
Construcción de los cojinetes	Soleras fabricadas, tapa para la base del cojinete y bloques de soporte del cojinete (todos ASTM A36 con insertos de izado de bronce)

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 6. Datos del conjunto de canaleta de carga y carro de rodadura del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Especificación	Datos
Canaleta de carga	Tanque sumidero, desmontable, montable en un conjunto de carro de rodadura
Especificación de materiales	Canaleta fabricada y carro de rodadura (ASTM A36) revestidos con caucho
Conjunto de carro de rodadura (de otros proveedores)	Carro de rodadura con canaleta, sin accionamiento propio, unidireccional

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 7. Conjunto de imán del muñón del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Especificación	Datos
Tipo de sistema de retorno para material de tamaño excesivo	Clasificación externa
Diámetro interior	2.337 mm por barril
Especificación de materiales	Barril de acero dulce, recubierto con caucho y canaleta de acero inoxidable para material rechazado
Abertura del panel de pantalla	No se incluye ninguna

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 8. Revestimiento del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Especificación del área/revestimiento del molino de bolas outotec 24'x36'	Datos
<b>Revestimiento del casco</b>	
Material	Acero al cromo-molibdeno o Caucho EPM-EPDM
Grosor	75 mm (levantadores de 75 mm, diseño de doble sinuosidad)
<b>Revestimientos del cabezal (por parte del comprador)</b>	
Material	Acero al cromo-molibdeno o Caucho EPM-EPDM
Grosor	75 mm (levantadores de 150 mm)
<b>Revestimiento del muñón del extremo de carga</b>	
Material	Revestimiento ASTM A36 (25 mm) fabricado y caucho (50 mm) /EPM-EPDM
<b>Revestimiento del muñón del extremo de descarga</b>	
Material	Revestimiento ASTM A36 (25 mm) fabricado y caucho (40 mm) espiral retardante/EPM-EPDM
<b>Refuerzo del revestimiento</b>	
Material	Refuerzo de caucho de 6 mm en el casco, los cabezales y el muñón / EPM-EPDM

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 9.** *Freno hidráulico del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Especificación	Datos
Tipo de calibrador del freno	Svendborg modelo FLSMB 1150 MS, dos conjuntos, tres calibradores por conjunto, calibradores liberados hidráulicamente
Presión nominal de liberación	13.500 kPa
Valor nominal de apriete	24.500 kNm
Tiempo máximo de detención	10 segundos
Potencia del motor del molino de bolas	11.931 kW a 11,37 rpm
Velocidad de marcha intermitente	1,00 rpm
Velocidad de reptación	0,30 rpm
Tipo de unidad de control	Unidad hidráulica (una unidad)
Tipo de bomba hidráulica	Bomba de pistón axial, una en servicio, una de reserva
Motor hidráulico de la bomba	11 kW/460 V/3 fases/60 Hz
Tamaño y cantidad de acumuladores	Tres acumuladores, 10 litros cada uno, 17.500 kPa, tipo ampolla
Depósito hidráulico	Capacidad de 130 litros
Fabricante del sistema hidráulico	Svendborg Brakes

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 10.** *Datos del sistema de lubricación de los cojinetes principales del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Especificación	Datos
Capacidad del depósito hidráulico	Depósito de 15.140 litros (tres compartimientos) 9.650 litros de volumen de carga de aceite (compartimientos de retorno, sedimentación y acondicionamiento)
Tipo/Clasificación de la bomba lubricante de baja presión	Bomba de tornillo, 1.059 lpm, una en servicio, una de reserva
Motor de la bomba de lubricación de baja presión	37 kW/1.800 rpm/460 V/3 fases/60 Hz
Tipo/Clasificación de la bomba lubricante de alta presión	Bomba de tornillo, 409 lpm por bomba, dos en servicio, una de reserva
Motor de la bomba de lubricación de alta presión	150 kW/1.800 rpm/460 V/3 fases/50 Hz
Caudal por almohadilla del cojinete	90,8 lpm
Caudal por riel de empuje	45,4 lpm
Tipo de aceite hidráulico	ISO 220 (240 cst a 37°C)
Requisito de agua de enfriamiento	1.544 lpm a 30°C

Caudal de descarga de la bomba de reducción	26,5 lpm
Tipo/Clasificación de la bomba de reducción	Bomba de engranajes, 20.700 kPa nominal, una en servicio, una de reserva
Motor de la bomba de reducción	15 kW/1.800 rpm/460 V/3 fases/60 Hz
Tamaño y cantidad de acumuladores	Cuatro acumuladores, 57 litros cada uno, tipo ampolla
Caudal durante la reducción	18,1 lpm a cada una de las ocho cavidades de las almohadillas de los cojinetes; total de 145 lpm
Duración nominal del tiempo de reducción	30 segundos
Volumen total utilizable en los acumuladores	228 litros
Tiempo de carga del acumulador, después del vaciado	12 minutos
Fabricante del sistema de lubricación	Howard Marten Company Ltd.

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 11.** *Datos del sistema de gato hidráulico para los bastidores del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Especificación	Datos
Conjunto de la bomba del sistema de gato con depósito	Enerpac de 100 litros de capacidad - Modelo ZE-68100MJU103
Motor de la bomba del sistema de gato	5,6 kW/460 V/3 fases/60 Hz
Capacidad del ariete de acción doble	Cuatro arietes, cada uno con una capacidad nominal de 907 MT y una carrera de 150 mm
Material del bastidor de izado	Fabricado a partir de placa de acero ASTM A36 (dos bastidores)
Fabricante del sistema hidráulico	Enerpac

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 12.** *Sistema de gato hidráulico y unidad de la bomba para el ajuste de la almohadilla del cojinete del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Especificación	Datos
Carga de izado máxima del gato	550 toneladas métricas
Carrera hidráulica máxima	20 mm
Bomba del sistema de gato	Bomba hidráulica accionada neumáticamente
Presión de salida del sistema	68.950 kPa en la unidad de 689 kPa
Fabricante del sistema	Enerpac

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 13.** Sistema de lubricación portátil para el montaje del molino de bolas outotec 24'x36'.

Especificación	Datos
Capacidad del depósito	300 litros
Caudal de descarga de la bomba auxiliar portátil	41,6 lpm
Tipo de bomba auxiliar portátil	Bomba de engranajes
Motor de la bomba auxiliar portátil	12,7 kW/1.200 rpm/460 V/3 fases/60 Hz
Aceite recomendado	Aceite EP ISO 220
Fabricante del sistema de lubricación	Howard Marten Company Ltd.

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 14.** Especificaciones de los materiales del molino de bolas outotec 24'x36'.

Componente Descripción	Tipo de material	Fabricación especial Procesos
Segmento del casco	Placa laminada ASTM A36 de 90 mm, con bridas normalizadas ASTMA36-Z25.	Patrones de orificios en la brida perforados y marcados para coincidencia. Piloto de la brida circunferencial.
Segmento del cabezal de carga	Hierro dúctil, ASTM A536, grado70-50-05.	Patrones de orificios en la brida perforados y marcados para coincidencia. Pernos de alineación perforados en las bridas radiales. Piloto de la brida circunferencial.
Muñón de carga	Hierro dúctil, ASTM A536, grado70-50-05.	Desmontable para emperrar al cabezal de carga.
Segmento del cabezal de descarga	Hierro dúctil, ASTM A536, grado70-50-05.	Patrones de orificios en la brida perforados y marcados para coincidencia. Pernos de alineación perforados en las bridas radiales. Piloto de la brida circunferencial.



Muñón de descarga	Hierro dúctil, ASTM A536, grado 70-50-05.	Desmontable para empinar al cabezal de descarga.
Conjunto del imán del muñón	Barril de acero dulce, recubierto con caucho y canaleta de acero inoxidable para material rechazado.	
Revestimientos del casco	Acero al cromo-molibdeno	Fundido
Revestimientos del cabezal de carga	Acero al cromo-molibdeno	Fundido
Revestimiento del muñón de carga	Revestimiento ASTM A36 (25 mm) fabricado y caucho (50 mm)	Fabricado
Revestimiento del muñón de descarga	Revestimiento ASTM A36 (25 mm) fabricado y caucho (40 mm) con espiral retardante.	Fabricado
Canaleta de carga	Canaleta del tanque sumidero y carro de rodadura (ASTM A36) revestidos con caucho	Fabricado
Conjunto de carro de rodadura	Carro de rodadura con canaleta, sin accionamiento propio, unidireccional.	Estructura soldada fabricada

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 15.** Dimensiones físicas y peso de los componentes del molino de bolas outotec 24'x36'.

Componente/Conjunto	Dimensiones externas	Peso de izado
Conjunto de canaleta de carga.	3.500 mm de alto x 3.500 mm de ancho x 5.370 mm de largo	12.090 kg
Transportador de la canaleta de carga.	1.290 mm de alto x 2.800 mm de ancho x 2.770 mm de largo	
Casco, extremo de carga y descarga, sección de 360 grados x 2, sin revestimientos.	4.192 mm de alto x 8.560 mm de diámetro	90.400 kg
Casco, segmento central, sección de 360 grados x 1, sin revestimientos.	3.960 mm de alto x 8.560 mm de diámetro	86.500 kg
Cabezal de descarga, segmento de 180 grados x 2, sin revestimientos.	1.165 mm de alto x 4.590 mm de ancho x 9.180 mm de largo	37.770 kg
Cabezal de carga, segmento de 180 grados 2, sin revestimientos.	1.165 mm de alto x 4.580 mm de ancho x 9.160 mm de largo	37.670 kg
Muñón del extremo de descarga, sin revestimientos.	4.380 mm de diámetro x 1.785 mm de largo	47.650 kg
Muñón del extremo de carga, sin revestimientos.	4.380 mm de diámetro x 2.050 mm de largo	52.800 kg
Tapa del cojinete principal.	2.710 mm de alto x 1.280 mm	1.850 kg
Inserto de bronce del cojinete principal	128 mm de alto x 790 mm de ancho x 950 mm de largo	475 kg
Conjunto de almohadilla de levantamiento del cojinete principal.	600 mm de alto x 790 mm de ancho x 950 mm de largo	2050 kg
Conjunto de empuje del cojinete principal.	490 mm de alto x 180 mm de ancho x 850 mm de largo	230 kg
Varadero de lubricación de los cojinetes.	Varadero del tanque principal y acumulador: 2.864 mm de alto x 4.250 mm de ancho x 8.593 mm	21.500 kg (seco)
Conjunto de calibradores de frenos de disco un lado.	3.222 mm de alto x 1.700 mm de ancho x 2.050 mm de largo	10.570 kg
Unidad de potencia hidráulica del freno de disco.	1.586 mm de alto x 940 mm de ancho x 1.618 mm de largo	825 kg (seco)
Barril del imán del muñón.	3.658 mm de diámetro x 1.829 mm de largo	4.808 kg

Fuente. <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

#### 4.2.2. Datos del proceso y operatividad del molino de bolas outotec 24'x36'

La tabla siguiente incluye los datos de proceso y operatividad para el molino de bolas outotec de 24'x36', número de equipo 2223 - ML- 201.

**Tabla N° 16.** Operatividad del molino de bolas outotec 24'x36'.

Especificación	Datos
Tipo de molino	Trituración húmeda, descarga por desbordamiento
Extremo de carga del molino	Canaleta de carga
Extremo de descarga del molino	Las partículas de mineral de tamaño insuficiente regresan al molino, las partículas de mineral de tamaño excesivo fluyen al proceso corriente abajo
Circuito operativo	Circuito cerrado
Carga de bolas del molino en operación	35 por ciento por volumen
Carga total del molino en operación	35 por ciento por volumen
Velocidad del molino	11,37 rpm, velocidad variable <10,06 - 12,69> (75 por ciento de velocidad crítica promedio)

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 17.** Carga de mineral al molino de bolas outotec 24'x36'.

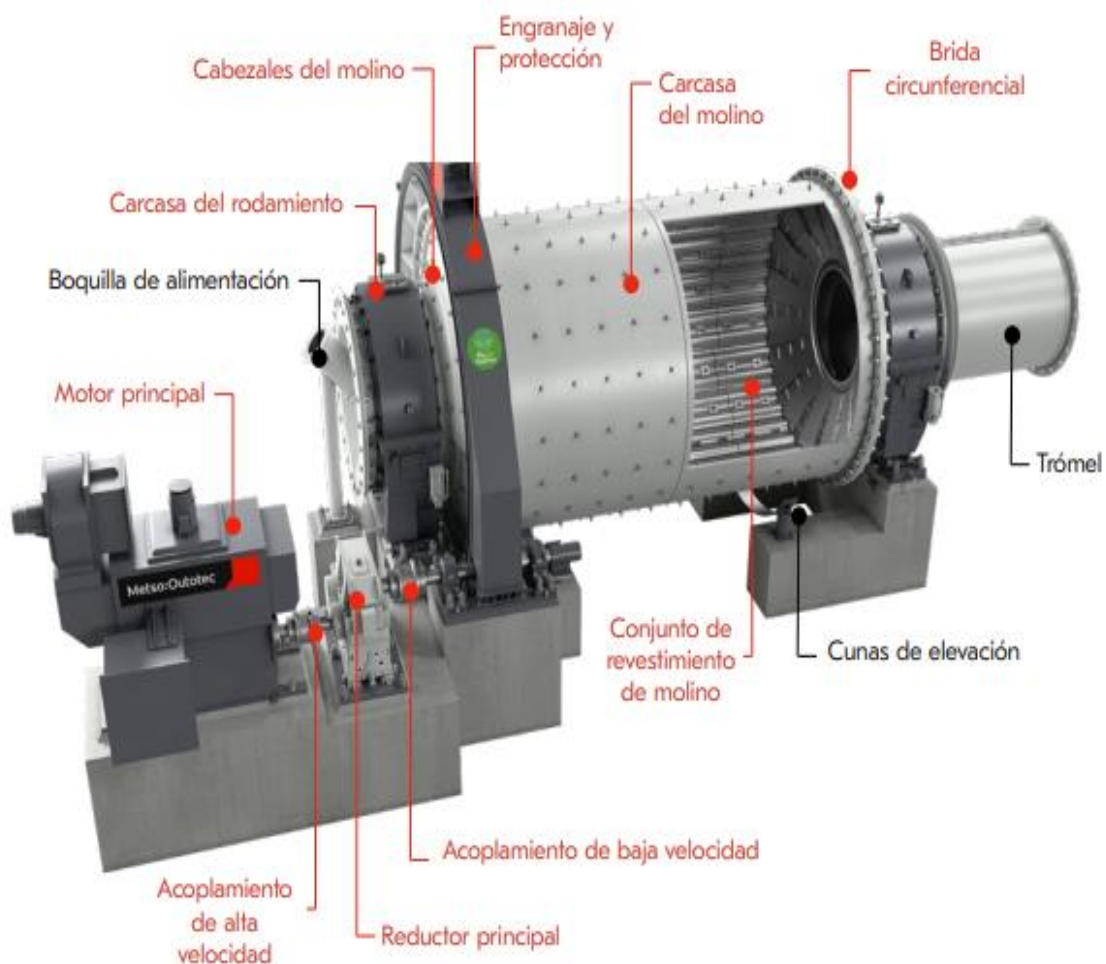
Especificación	Datos
Gravedad específica del mineral (sg)	2,70
Densidad a granel del mineral	1,69 toneladas métricas/m <sup>3</sup>

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Tabla N° 18.** *Requisitos operativos del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Especificación	Datos
Toneladas de alimentación	50 – 900 t/h
Tamaño de carga de mineral F80	2,00 - 4,000 micrones
Tamaño del producto de mineral P80	100 - 220 micrones
Carga de recirculación	300 por ciento
La temperatura máxima de diseño	300°C
La temperatura operativa máxima	135°C

**Fuente.** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Figura N°3:** *Componentes principales del molino de bolas outotec 24'x36'.*

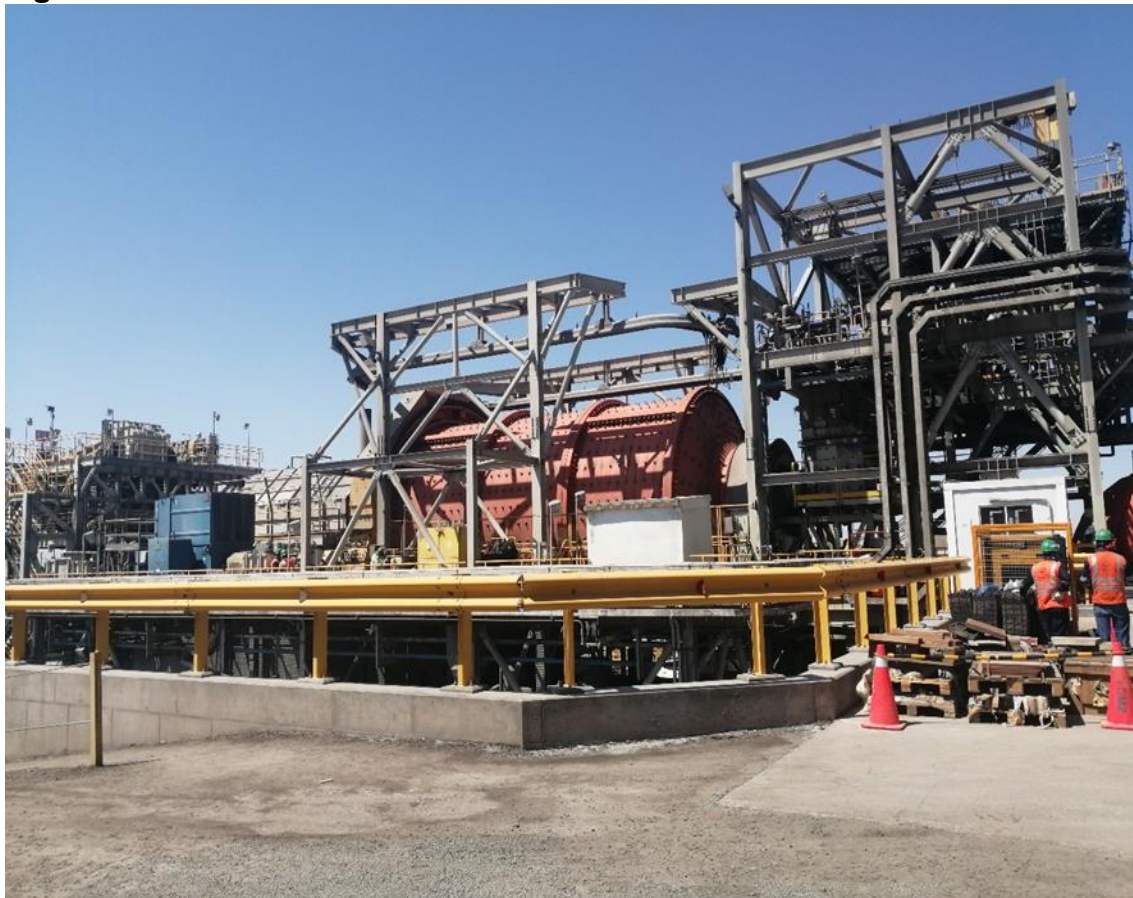
**Fuente:** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

**Figura N°4:** Molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°5:** Molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura N°6:** *Molino de bolas outotec de 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

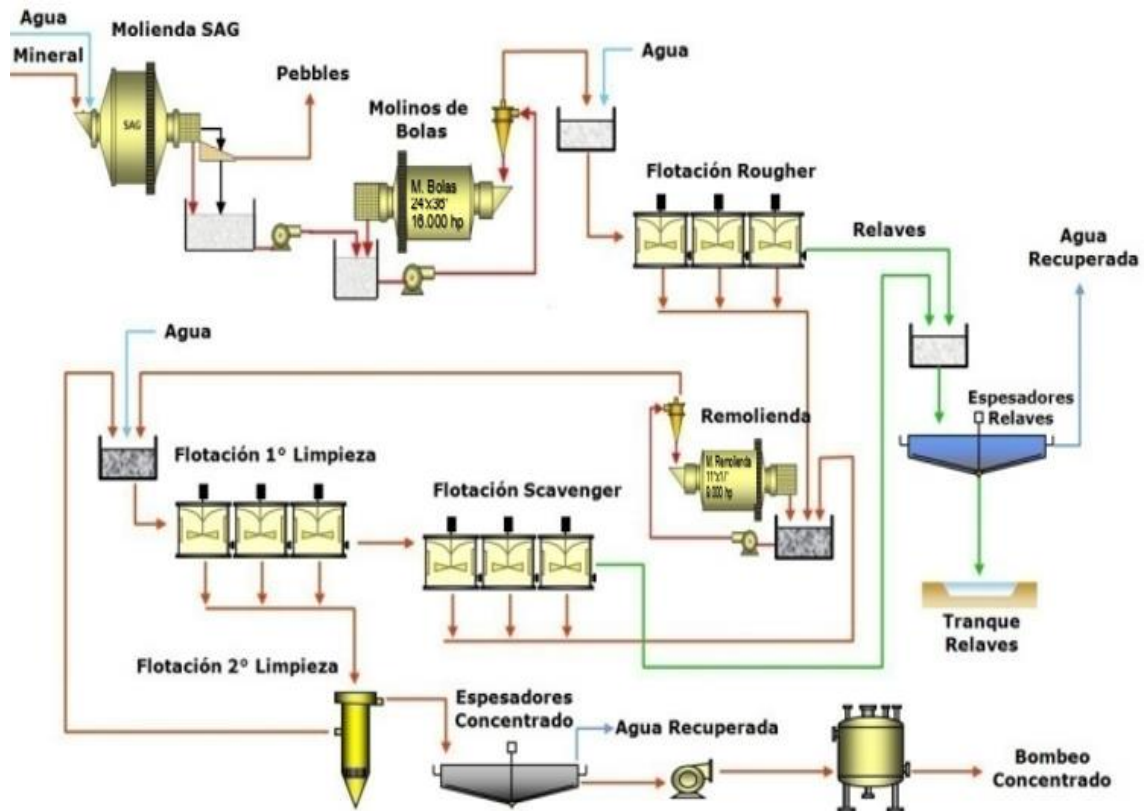
**Figura N°7:** *Molino de bolas outotec de 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.3. Diagrama del proceso de concentración de cobre en minera MARCOBRE.

Intervención del molino de bolas outotec de 24'x36' en el procesamiento de cobre



- Área Sulfuros.

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.4. Principio de funcionamiento del molino de bolas outotec de 24'x36'

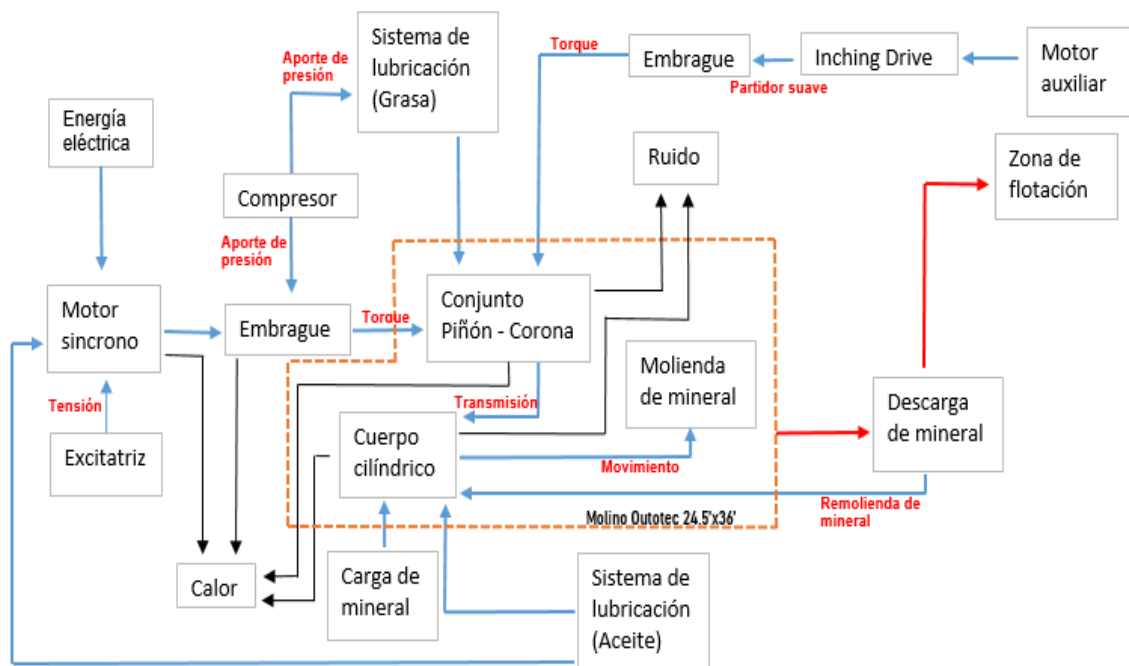
El molino de bolas outotec de 24'x36', es una máquina de trituración que reduce el tamaño de las partículas de mineral como preparación para los circuitos de extracción de mineral corriente abajo. La trituración se logra a través de la combinación interior de impactos y abrasión en un medio de fango o pulpa de mineral (un fango o pulpa es una mezcla de partículas sólidas de mineral, agua y algunos reactivos) y bolas de acero.

El molino de bolas outotec de 24'x36' consta de un cilindro rotativo de acero con extremos de tronco cónicos. El cilindro es soportado en cada extremo por muñones que giran sobre cojinetes. En la superficie interna se empernan revestimientos metálicos o revestimientos de caucho en el interior del casco y de los cabezales. El mineral en conjunto con las bolas de acero, sube hasta cierta altura, de donde luego caen, girando y/o golpeándose entre sí y contra los revestimientos. El ciclo se repite, vuelven a subir y bajar el mineral junto con las bolas de acero, y se da el proceso de molienda.

En la figura se muestra el diagrama funcional del molino de bolas outotec de 24'x36' en el cual se puede apreciar la división de alguno de los principales sistemas del equipo, además se muestran sus funciones y su interacción con el medio. Por otro lado, cualquier flecha que se vea interrumpida implica una eventual falla en el equipo. Este diagrama se realizó con el fin de obtener un mayor conocimiento del equipo, las funciones de los distintos sistemas y componentes.



#### 4.4.1. Diagrama funcional de bloques del molino de bolas outotec 24'x36'



Fuente: *Elaboración propia.*

Según información entregada por el departamento de operaciones del área de sulfuros, la capacidad nominal del equipo es de 134 (ton/hor), pero regularmente opera dentro de un rango de carga que va desde las 90 a 120 (ton/hor). Además, el molino de bolas outotec de 24'x36' realiza la conminución del mineral durante las 24 horas del día y en ocasiones se detiene solamente para actividades ligadas a mantenencias correctivas sujetas a cambios puntuales.

El equipo lleva en funcionamiento aproximadamente dos meses desde la última vez que se realizó el mantenimiento preventivo y aunque suele operar dentro del rango de carga mencionado anteriormente, ha habido ocasiones en que el flujo es mayor y se han presentado incidentes como: fallas internas en los revestimientos, sistema eléctrico, sistema de lubricación, llenado de bolas de acero, etc.

#### 4.5. Análisis de criticidad de los componentes del molino de bolas outotec 24'x36'

Para realizar un análisis de criticidad se debe definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis. Conocer la criticidad del molino de bolas outotec, sistema o componente permite subdividir los objetos de estudio a un nivel en el que su ocurrencia pueda regularse con mayor eficacia.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. Lamentablemente, se disponen de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas y tener un mejor manejo de criticidad.

**Figura N°8:** *Confiabilidad operacional para realizar un mejor manejo de criticidad.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

La tabla de criticidad, que se desarrolló para este análisis, se tomó en cuenta la frecuencia de falla, el impacto en la productividad, tiempo promedio para reparar, el costo por reparación, el impacto en la seguridad y el impacto en el medio ambiente, con rangos de 5, 10 y 15 de puntuación, además de que cada criterio de análisis tiene un peso del 20%. De acuerdo con la siguiente ecuación, se utilizó una matriz de frecuencias y consecuencias de fallos para realizar el análisis de criticidad del estudio.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

**Tabla N°19:** *Matriz de criticidad para el molino de bolas outotec 24'x36'.*

F r e c u e n c i a	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	M	A	A
	3	B	M	M	M	A
	2	B	B	M	M	M
	1	B	B	B	M	M
	Consecuencia	1	2	3	4	5

A	Criticidad alta Rango de 15 a 25 Ptos
M	Criticidad Media Rango de 5 a 12 Ptos
B	Criticidad Baja Rango de 1 a 4 Ptos

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla N°20:** *Matriz de valores para criticidad del molino de bolas outotec 24'x36'.*

Criterio	Descripción de criterio	Valores
Concecuencia	Produce paro o daño al equipo	De 1 a 5
Frecuencia	Cuantas veces paro en 3 meses	De 1 a 5
Rango	Alta, mediana o baja criticidad	De 1 a 25

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla N°21:** *Determinación de los criterios de criticidad para el molino de bolas outotec 24'x36'.*

CRITERIO	DESCRIPCIÓN DE CRITERIO	VALORES
FRECUENCIA DE FALLA (FF)	Cantidad de fallas registradas en un periodo de 2 meses	0 a 20, en escala de 5
IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN (IP)	Como afecta el correto proceso productivo de la planta, considerando su producción	0 a 20, en escala de 5
TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	Tiempo promedio que toma en reparar un falla detectada, desde 1 hora por intervención menor hasta 25 horas para intervenciones mayores	0 a 20, en escala de 5
COSTO DE REPARACIÓN (CR)	Costo para regresar a la correcta operatividad del equipo, en relación a las horas de trabajo y recursos como repuestos y suministros	0 a 20, en escala de 5
IMPACTO DE SEGURIDAD (IS)	Como afecta a la seguridad tanto en las personas como los equipos periféricos las fallas que presenta el equipo	0 a 20, en escala de 5
IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE (IMA)	Como afecta al medio ambiente las fallas que presenta el equipo	0 a 20, en escala de 5

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Los componentes a estudiarse tienen la siguiente criticidad:

**Tabla N°22:** Valor de la criticidad del molino de bolas outotec 24'x36'.

ITEM	Componente	Frecuencia de falla	Consecuencia	Rango	Nivel de criticidad
1	Motor eléctrico principal	4	5	20	Alta criticidad
2	Reductor principal	3	5	15	Alta criticidad
3	Contraeje	3	5	15	Alta criticidad
4	Catalina	3	5	15	Alta criticidad
5	Spout feeder	4	5	20	Alta criticidad
6	Trommel	3	5	15	Alta criticidad
7	Trunnion de carga	3	5	15	Alta criticidad
8	Trunnion de descarga	3	5	15	Alta criticidad
9	Bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing	4	4	15	Alta criticidad
10	Recubrimiento	4	5	20	Alta criticidad
11	Bomba de engranajes de lubricación de motor	3	4	16	Mediana criticidad
12	Bomba tornillo de lubricación de gearbox	3	4	12	Mediana criticidad
13	Bomba de engranajes de lubricación de motor	3	4	12	Mediana criticidad
14	Motor auxiliar	2	5	12	Mediana criticidad
15	Reductor auxiliar	2	5	10	Mediana criticidad
16	Chute de alimentación	2	5	10	Mediana criticidad
17	Equipos de instrumentación	1	3	3	Baja criticidad
18	Acoples	2	2	4	Baja criticidad

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.6. Descripción de los sistemas del molino de bolas outotec de 24'x36'

##### 4.6.1. Sistema eléctrico

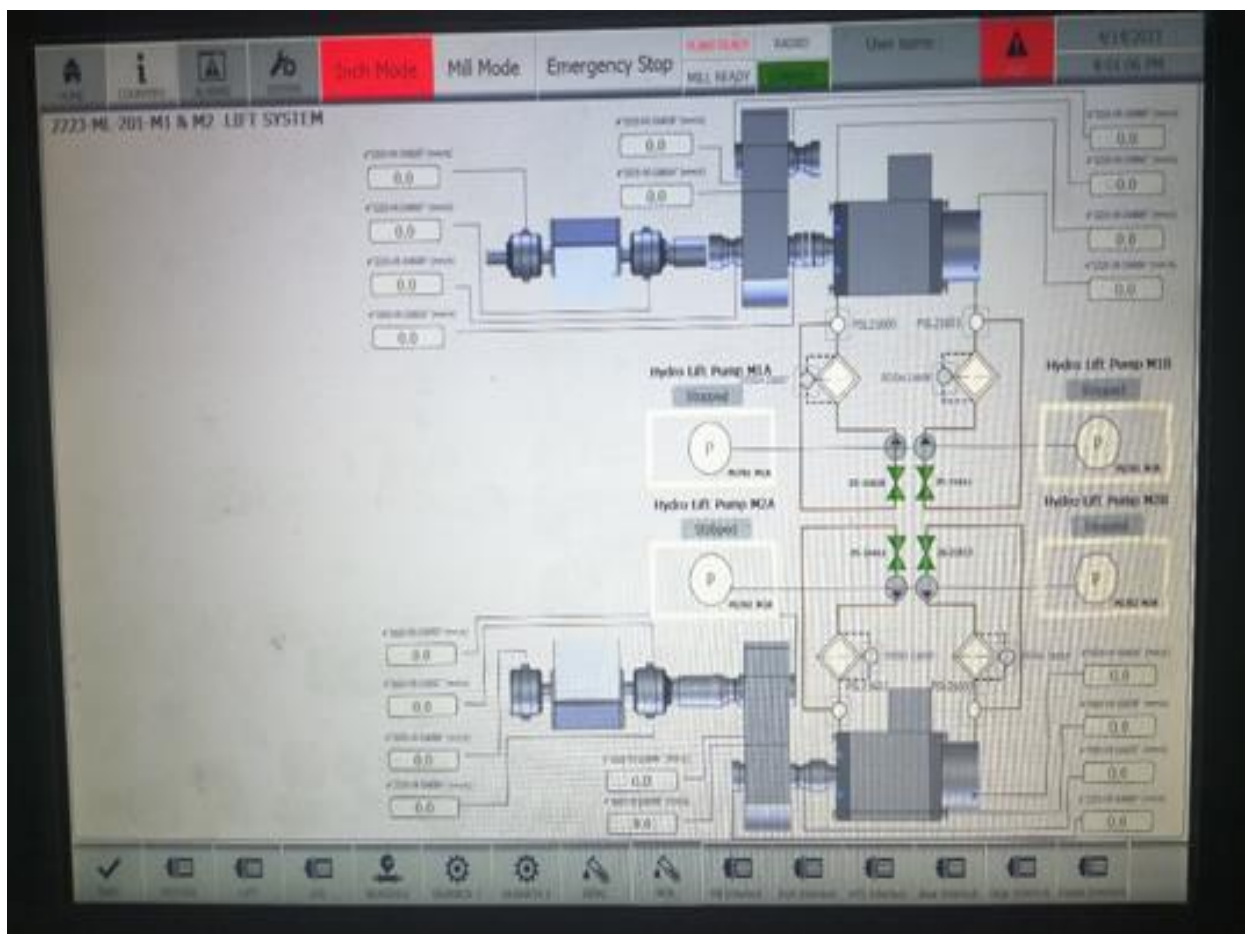
Un sistema eléctrico es un conjunto de dispositivos, conductores y piezas de maquinaria necesarios para la producción, transmisión y distribución de energía eléctrica, esencial para el funcionamiento del molino de bolas outotec de 24'x36'. Dentro de ello también está el área central del panel principal, denominada conmutador de áreas de trabajo, que permite mostrar otras áreas del equipo y donde podremos visualizar información de cualquier sistema o componente del molino de bolas outotec y ejecutar acciones.

**Figura N°9:** Panel de control del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura N°10:** Verificación de componentes del molino de bolas outotec de 24'x36' en el panel central modo Inch mode.



**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura N°11:** Verificación de componentes del molino de bolas outotec 24'x36' en el panel central modo mill mode.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura N°12:** Motor eléctrico principal del molino de bolas de 11.931 kW.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura N°13:** Verificación de componentes del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°14:** Verificación de componentes del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*



#### 4.6.2 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del molino de bolas outotec 24'x36' consta de tres componentes críticos como el reductor de velocidad principal el cual está asociado con un acople bridado al contraeje que funciona en conjunto con la catalina del molino, produciéndose así un giro lo que internamente permite la formación de la cascada donde se conminuciona el mineral con ayuda de bolas de acero.

**Figura N°15:** *Sistema de transmisión catalina-piñón del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°16:** Sistema de transmisión del molino de bolas outotec 24'x36'.

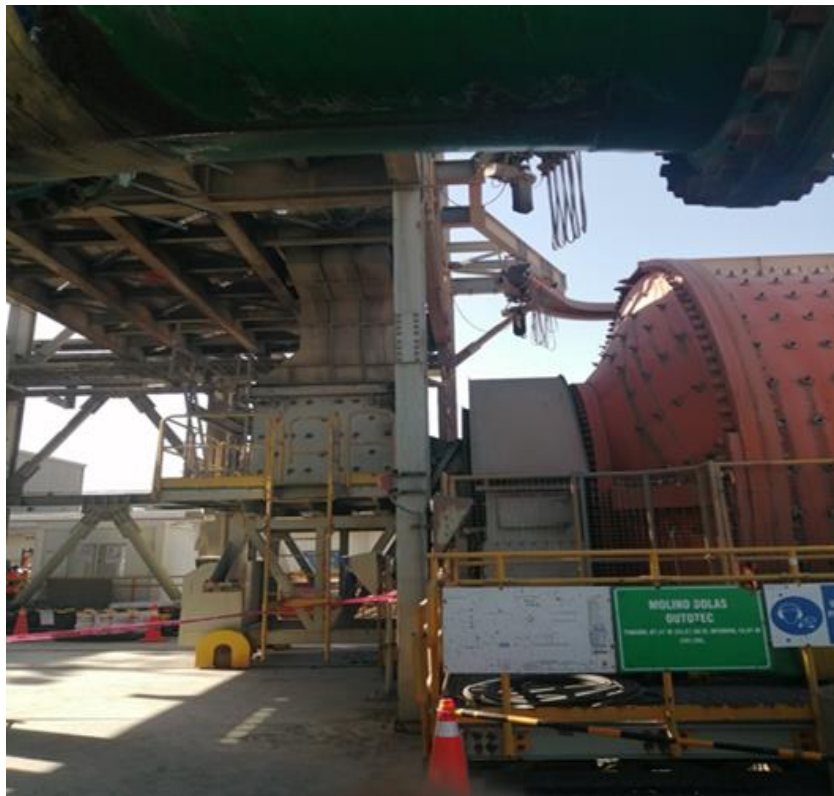


**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.6.3. Sistema carga y descarga**

El sistema de carga y descarga del molino de bolas tiene por objeto alimentar el molino de mineral a través de un spout feeder, que permite transferir la carga de un flujo turbulento a un flujo laminar para evitar atascos en la alimentación del molino. Del mismo modo, la descarga del molino cuenta con un trommel para evitar la caída de bolas de acero a las bombas de pulpa (es un fluido formado por la suspensión de uno o varios minerales en agua).

**Figura N°17:** Sistema de carga del molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°18:** Sistema de descarga del molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.6.4. Sistema de soporte**

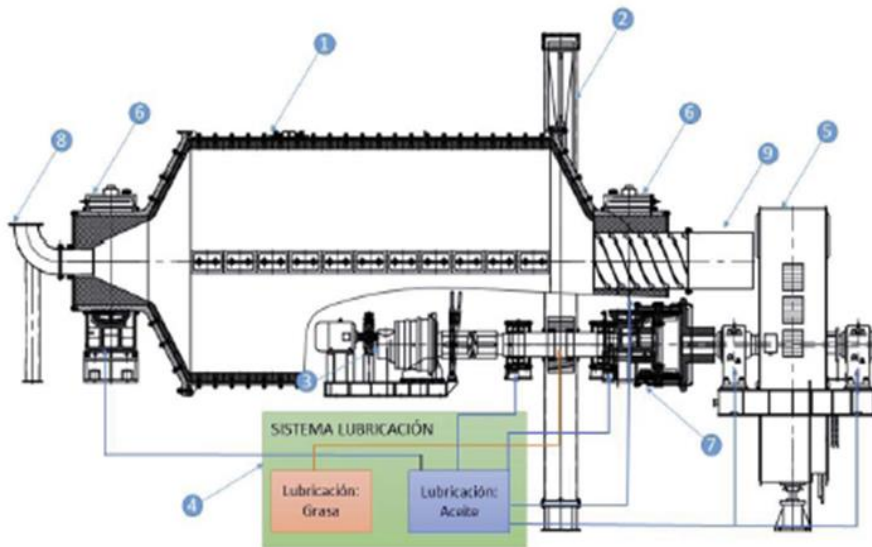
Los muñones de carga y descarga, que son donde se apoya el molino de bolas y están conectados por las tapas de carga y descarga, constituyen el sistema de soporte. En su interior, estos muñones tienen casquillos de bronce aislados internamente por una capa de aceite de unos 0,3 mm de espesor. Esto desempeña el papel de un elemento rodante similar al de un cojinete, permitiendo la rotación y evitando el Interhierro (contacto entre metales), mediante el uso de esta película de aceite, el cobre al ser menos denso que el acero evita el contacto y fricciones.

#### **4.6.5. Sistema de lubricación**

El sistema de lubricación consta de bombas de tipo tornillo para generar un caudal con presión determinada y flujo volumétrico con el que se bombea lubricante a los componentes como el trunnion, para formar la película de aceite constante que requiere el molino de bolas outotec para los giros, así como lubricar los rodamientos del motor y reductor. La finalidad de la lubricación es evitar el contacto de metal a metal, lo que traería como consecuencia la formación de limaduras y finalmente la ruptura o en todo caso llegase a fundir valiosas piezas del molino, como son las chumaceras causando graves pérdidas en la producción y esta es una de las razones por la cual se lubricará constantemente el piñón y la catalina que son los engranajes dentados de la transmisión del molino.



**Figura N°19:** Sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'.



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

**Figura N°20:** Sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'.



Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.6.6. Sistema de calentamiento o enfriamiento

En un molino de bolas no hay sistema de calefacción, pero puede haber un sistema de refrigeración. Este sistema de refrigeración funcionaría para enfriar los cojinetes, que se calientan constantemente por el giro que da el molino y el peso que soporta.

**Figura N°21:** Sistema de sensores de temperatura del molino de bolas outotec 24'x36'.



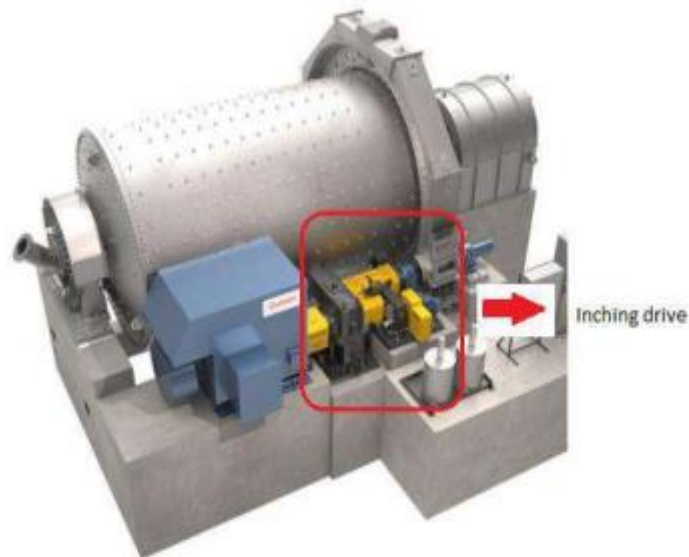
**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.6.7. Sistema inching drive

El sistema de accionamiento de avance lento, comúnmente denominado sistema auxiliar, se utiliza para arranques controlados, graduales y a baja velocidad con un par elevado. Es capaz de proporcionar los pares necesarios al contraeje del sistema de accionamiento del molino de bolas outotec 24'x36'. Además, se utiliza para los giros del molino durante el mantenimiento, como los

cambios de revestimiento, lo que permite un mejor control de los giros y la protección de los mantenedores que participan en estas modificaciones. permitiendo rotaciones a aproximadamente 0,5 RPM.

**Figura N°22:** *Sistema Inching drive del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

#### **4.7. Revestimiento del molino de bolas outotec 24'x36'**

Para revestir los molinos se utilizan revestimientos de metal duro fundido de acero con cromo y molibdeno, incluidos juegos completos de carcasa y rodillos de entrada de alimentación. Las piezas de los revestimientos se fijan a las esquinas de las carcasas como parte de los revestimientos. En los bastidores de acero, el cilindro de descarga está revestido de caucho vulcanizado. Con el fin de acomodar pequeñas imperfecciones en la disposición de las camisas y evitar la erosión de la carcasa por la pulpa que pudiera quedar atrapada entre las camisas, se adhiere un material de refuerzo para la camisa de caucho a la carcasa del molino, las placas tubulares y el rodillo de entrada de alimentación.



**Figura N°23:** *Recubrimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°24:** *Recubrimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*



#### **4.7.1. Complemento para el cambio de revestimientos del molino de bolas outotec de 24'x36'**

##### **4.7.1.1. Perno cabeza oval**

Son elementos de sujeción que sirven para sujetar o mantener juntas dos o más piezas interna y externa del casco del molino, se debe tener cuidado con dichos pernos, porque una mala fijación provocará, sin duda, fugas, contaminación del molino, aflojamiento de refuerzos, incluso caídas de éstos, y averías imprevistas; accidentes de consecuencias desastrosas si se da el caso. Los pernos de fijación son los que requieren la mayor inversión de tiempo y recursos durante el proceso de cambio del revestimiento. Una buena calidad de los pernos, las condiciones de asiento del revestimiento, la calidad de la junta, el par de apriete final y el reapriete, entre otras cosas, son necesarios para una buena fijación de los pernos.

##### **4.7.1.2. Perno de cabeza avellanada**

Son uniones donde necesitemos apretar con gran fuerza. Utilizadas en el interior del molino donde es necesario dejar la cabeza del tornillo sumergida o a ras con la superficie, suelen someterse a un tratamiento térmico para aumentar su dureza antes de ser normalizadas y templadas.

##### **4.7.1.3. Tuerca hexagonal**

Es un componente mecánico provisto de un orificio central y una rosca para fijarlo a un tornillo de forma fija o deslizante. La tuerca se utiliza para asegurar o apretar acoplamientos entre componentes desmontables. Para una mejor unión o bloqueo, ocasionalmente se puede añadir una

arandela sin dejar de sujetar. Las características del tornillo con el que se une una tuerca deben estar siempre presentes en la tuerca.

**Figura N°25:** Pernos avellanadas del molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.8. Tipos de recubrimientos para el molino de bolas outotec 24'x36'**

- Recubrimiento de acero

Tipo no ondulados: para alimentación fina o blanda

Tipo ondulados: para alimentación gruesa

- Recubrimiento de caucho

Tipo ondulados

#### **4.9. Componentes principales del molino de bolas outotec de 24'x36'**

##### **4.9.1. Motor eléctrico**

Al transformar la energía eléctrica en energía mecánica de rotación, el motor eléctrico acciona la caja de cambios. El motor síncrono del molino de bolas es horizontal de tres fases principales polos motor síncrono.

##### **4.9.2. Reductor de velocidad principal**

El reductor de velocidad de engranaje principal, accionará el contraeje conectado al convertidor para generar el giro del molino. Su función es la

de reducir significativamente la velocidad angular para aumentar el momento de torsión.

#### 4.9.3. Contraeje

El contraeje es de acero de baja aleación de alta resistencia montado en dos chumaceras. La catalina, que recibe la transmisión de potencia del piñón tiene dientes helicoidales para una mayor superficie de contacto, lo que genera una mayor transmisión de par, es accionada por el reductor y está soportado por dos cojinetes de extremo que se fijan a la base de hormigón paralelamente a las bases de los muñones y giran a una velocidad angular determinada.

#### 4.9.4. Corona y piñón

Son los engranajes que actúan como mecanismo de transmisión del movimiento. El piñón, encargado de accionar la corona que mueve el molino, está acoplado al contraeje que acciona el motor del molino. La corona es un engranaje que se sujeta a la tapa de descarga del molino, mientras es accionado por el contraeje, muele el mineral con la ayuda de las bolas de acero y está cubierto por una tapa de engranajes.

**Figura N°26:** *Corona y piñón del molino de bolas outotec 24'x36'.*

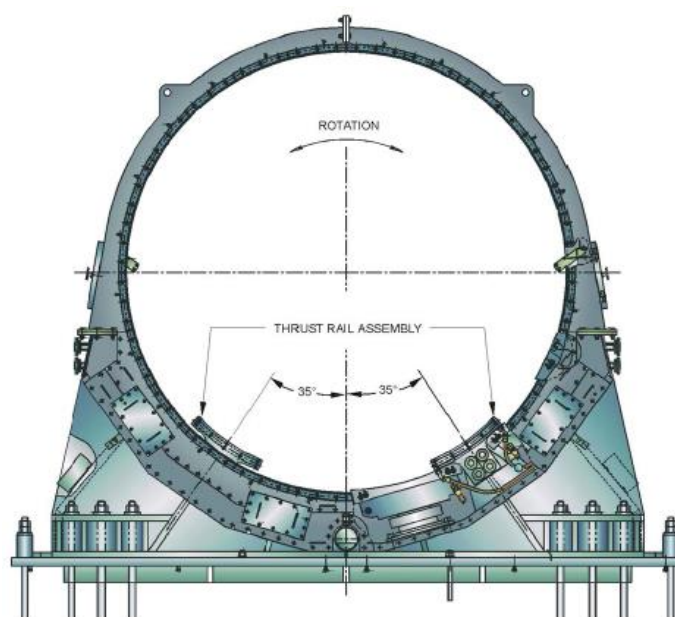


**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.9.5. Chumaceras

Sirve tanto de base como de soporte del molino. El aceite circula a través de copas en los muñones que están cubiertas por juntas de goma exclusivas para evitar fugas de aceite e infiltraciones de polvo, lubricando los cojinetes principales autoalineables.

**Figura N°27:** *Chumaceras del molino de bolas outotec 24'x36'.*



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

#### 4.9.6. Cuerpo o casco

El mayor componente de un molino, es un cilindro hueco de acero, cerrado con cabezas laterales, de carga y descarga, está diseñado para soportar impactos y cargas pesadas. Presenta perforaciones para poder retirar los pernos que sujetan a los revestimientos. Dispone de bridas de acero de gran tamaño que suelen soldarse a los extremos de las placas de la coraza para conectar las cabezas de los muñones. En el armazón contiene una rendija (manhole), lo que permite cargar y descarga las bolas de acero, así como para inspeccionar los

liners y lifter. Dos rodamientos o dos cojinetes esféricos macizos soportan el armazón del molino durante la instalación.

#### **4.9.7. Spout feeder – Chute de alimentación**

Es el componente que alimenta al molino de mineral. Este componente consta de tres partes: la curva de entrada al molino y los otros dos segmentos. Las tres secciones tienen un revestimiento de caucho shore D (dureza de cauchos duros), y los insertos de compuestos cerámicos, en conjunto prolongan la vida útil del revestimiento donde hay impacto o incidencia de carga.

**Figura N°28:** *Chute de alimentación del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura N°29:** Zona de descarga spout feeder del molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.9.8. Tapa

Soportan los cascos y están unidos al trunnion.

**Figura N°30:** Tapa del molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.9.9. Trommel

El Trommel es un tambor cilíndrico que tiene muchos agujeros de un tamaño determinado, malla circular giratorio que clasifica los materiales según su tamaño. Es un componente que impide que las bolas de acero entren en las cajas de alimentación de las bombas de lodos. Si esto ocurriera, atascaría la planta, paralizaría las operaciones y, en el peor de los casos, rompería el impulsor e incluso dañaría el reductor de la bomba. Este componente está formado por mallas de goma (criba de caucho), unidas por placas atornilladas a la misma estructura del molino. El dimensionamiento del trommel para molinos de bolas debe permitir la clasificación de los sólidos y el drenaje de la pulpa según se requiera.

**Figura N°31:** *Trommel del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura N°32:** *Trommel del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°33:** *Mantenimiento de trommel del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*



#### 4.9.10. Chaquetas o forros

Son revestimientos internos del cilindro lo cual puede estar hecha de acero o caucho. Asimismo; los elevadores del molino sirven como cubiertas protectoras de la carcasa interna, que se deteriora con el tiempo como resultado del contacto interno constante entre la carga de mineral y las bolas de acero.

**Figura N°34:** *Chaquetas del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.9.11. Cuerpos trituradores - Bolas de acero

Son las bolas de acero para la molienda del mineral con alto contenido de carbono de alta dureza, que permiten maximizar su rendimiento frente al desgaste por abrasión y el impacto en la molienda de minerales.

#### 4.9.11.1. Composición química de bolas de acero

**Tabla N°23:** Composición química de bolas de acero que intervienen en el proceso de molienda.

Elemento %		Diámetro de bola				
		1" , 1.5"	2" / 2.5",3"	3.5"	4"	5"
C	Mín.	0.80	0.80	0.75	0.60	0.60
	Máx.	1.15	1.15	1.10	0.85	0.95
Mn	Mín.	0.70	0.70	0.70	0.90	0.90
	Máx.	1.15	1.15	1.15	1.05	1.05
Si	Mín.	0.12	0.12	0.10	0.15	0.15
	Máx.	0.35	0.35	0.40	0.40	0.45
Cr	Mín.	0.15	0.15	0.15	0.65	0.65
	Máx.	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00
P	Máx.	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
S	Máx.	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.9.11.2. Dureza HRC – peso nominal

**Tabla N°24:** Dureza Rockwell de las bolas de acero

Diámetro de Bola	Dureza Volumétrica (HRC)	Peso Nominal (gr)
1"	60.0 – 65.0	67
1 ½ "	60.0 – 65.0	227
2"	60.0 – 65.0	539
2 ½ "	60.0 – 65.0	1052
3"	60.0 – 65.0	1818
3 ½ "	58.0 - 65.0	2888
4"	57.0 – 63.0	4310
5"	50.0 – 58.0	8420

Fuente: *Elaboración propia.*

Normalmente el molino de bolas outotec de 24'x36' trabaja de 70 a 78% de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral. La cantidad de bolas que se coloca dentro del molino depende de la cantidad disponible de energía

eléctrica para mover el molino, está en un rango de 40 a 50%. Generalmente nunca se llega a 50% del volumen total. La carga de bolas debe ser correcta y bien proporcionada, con bolas de 5" a 4" para triturar las partículas de mineral más grande y duras.

**Figura N°35:** *Diferentes diámetros en el interior del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°36:** *Deformación de las bolas de acero del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

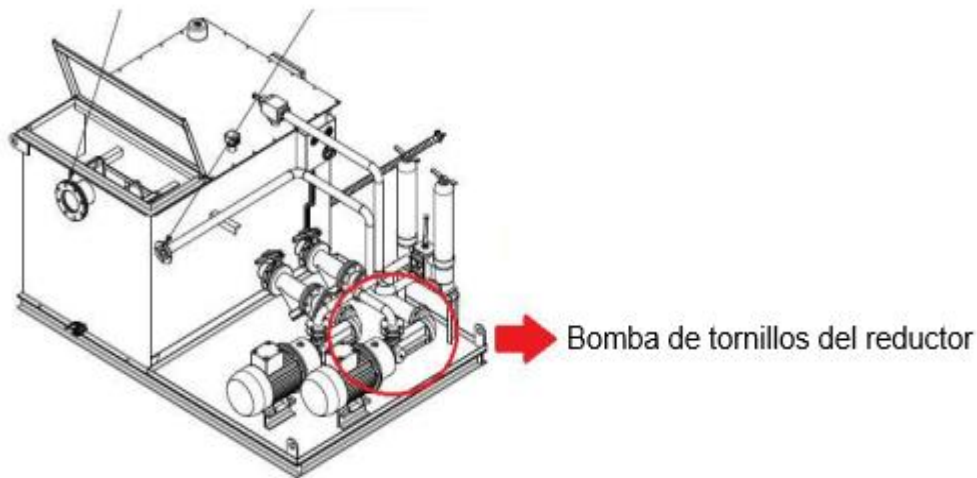
#### **4.9.12. Trunnion de carga y descarga**

El muñón, que se utiliza para cargar y descargar el mineral en los molinos, es un buje y generalmente con nervaduras de espiral en el interior. El de carga y descarga es un conducto para la entrada de carga impulsada por la cuchara de alimentación y conducto de descarga del mineral en pulpa respectivamente. Se apoya sobre cojinetes tanto durante la carga como durante la descarga. Esto permite sostenerlo de forma continua y perfectamente paralela a los cimientos del molino. Para evitar el desgaste, el sector de apoyo tiene una construcción cilíndrica que descansa sobre una superficie cóncava que recibe aceite a presión. Para evitar un entrehierro, que daría lugar a una colisión de metales con alta fricción estática.

#### **4.9.13. Bomba de tornillo de lubricación trunnion bearing**

La bomba de tornillo de lubricación con cojinete de muñón, convierte la energía mecánica en energía hidráulica para mover el aceite a un determinado caudal volumétrico y una presión de funcionamiento. Las bombas de tornillos funcionan rotativamente, con aspiración normal. Dos husillos de descarga transportan el fluido en dirección axial. Cuando el rotor gira en el interior del estator, el panel avanza en forma de espiral a lo largo del eje de la bomba, sin cambiar de forma ni de volumen. De esta manera se transfiere el lubricante desde la entrada hasta la salida de la bomba.

**Figura N°37:** *Bomba de tornillos de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'.*



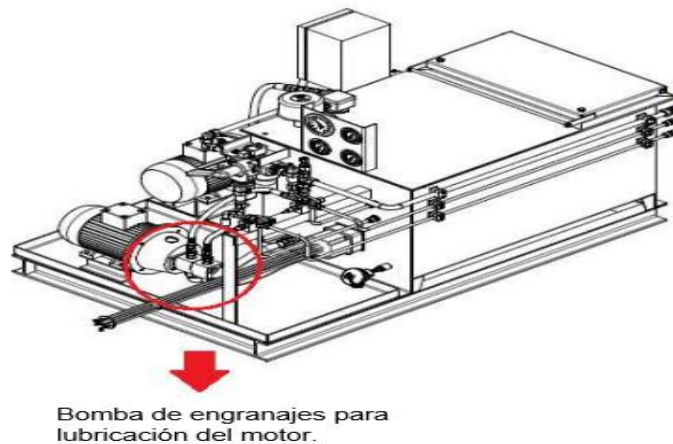
**Fuente:** <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

#### **4.9.14. Bomba de engranaje de lubricación del motor**

La bomba de engranajes de lubricación del motor, hace circular el aceite a una presión de funcionamiento. Las bombas de engranajes basan su funcionamiento en el aprovechamiento de la fuerza de sus engranajes para transferir fluidos. Los engranajes actúan con la carcasa de la bomba, creando una fuerza de succión en la entrada que hace que el fluido sea aspirado. Asimismo, el sistema de recirculación de lubricación, permite aumentar la velocidad de funcionamiento y el rendimiento, gracias a la rápida renovación del lubricante, el cual elimina el calor y proporciona una lubricación por inmersión total en aceite.



**Figura N°38:** Bomba de engranajes de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'.

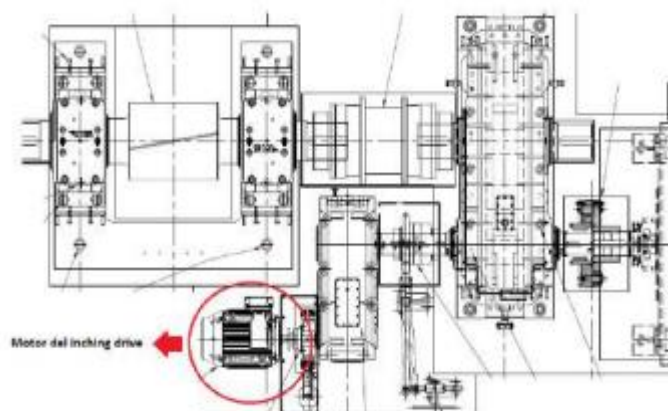


Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

#### 4.9.15. Motor auxiliar

Trabaja con una potencia requerida y conectado a la caja de engranaje auxiliares, el motor auxiliar alimenta el sistema de tracción por inercia convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica de rotación. Los motores auxiliares siempre se utilizan cuando no está en funcionamiento el motor principal para suministrar energía a los diferentes equipos.

**Figura N°39:** Motor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'.

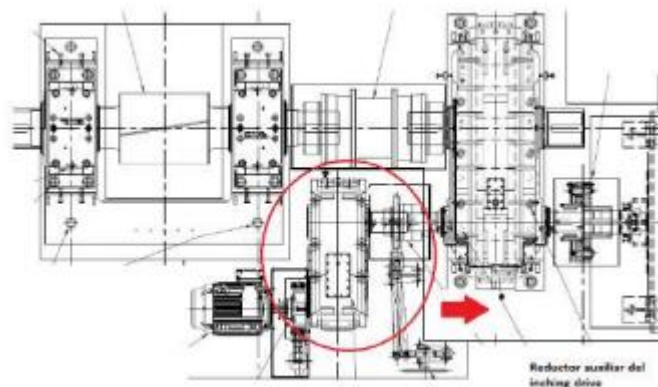


Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

#### 4.9.16. Reductor auxiliar

La caja de cambios auxiliar permite una reducción de la velocidad a través de su tren de engranajes, produciendo un aumento del par, con una potencia; éste es alimentado principalmente por el motor auxiliar para los giros en el cambio de carcasa.

**Figura N°40:** Reductor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'.

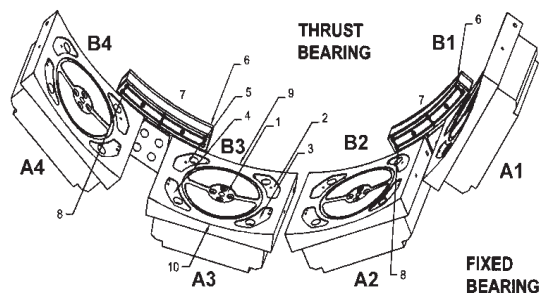


Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>.

#### 4.9.17. Zapatas hidrostáticas

Funcionan con un suministro de aceite presurizado para soportar las cargas masivas. Estos rodamientos de alta capacidad son rígidos, precisos e independientes de la velocidad.

**Figura N°41:** Zapatas hidrostáticas del molino de bolas outotec 24'x36'.



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

#### 4.9.18. Lifter

Yin et al. (2019), Dado que los lifter o levantadores de los molinos se desgastan continuamente como consecuencia del movimiento de la carga hasta que es necesario desmontarlos y sustituirlos por otros nuevos. Tradicionalmente, los lifter de cilindros se han fabricado con barras de acero fundido. Existen formas alternativas de construir un elevador, como el uso de caucho. De acuerdo con la presente invención, se va a utilizar una barra mixta formada por acero resistente al desgaste, utilizándose el volumen restante de material elastomérico y la estructura de acero para la fijación. Para que el molino funcione correctamente, es necesario sustituir los elevadores de los rodillos del molino. Las paradas se programan para que coincidan con las de los demás equipos de la planta, a fin de garantizar que el nivel de desgaste de los elevadores no ponga en peligro la integridad estructural del molino ni provoque una caída brusca de la eficacia de conminación del equipo.

**Figura N°42:** *Lifter o levantadores del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura N°43:** *Levantadores de caucho del molino de bolas outotec 24'x36'.*



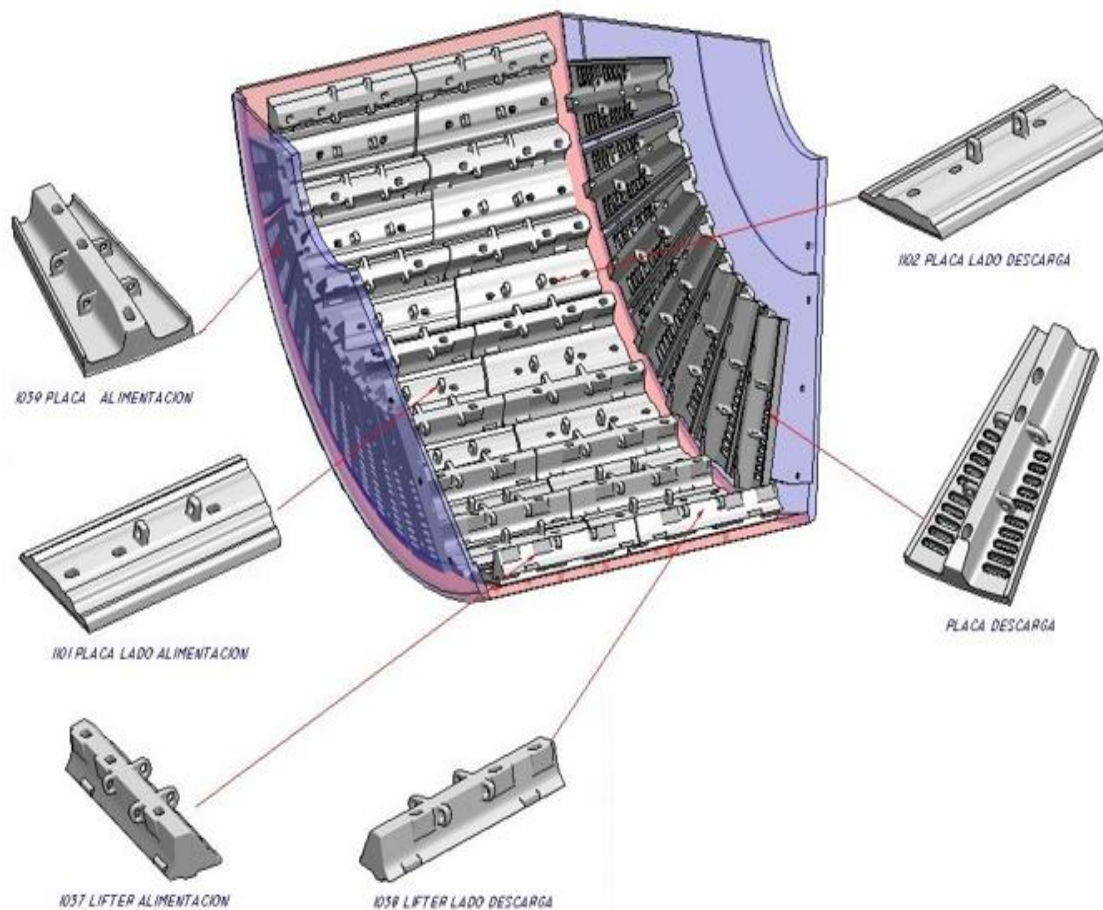
**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.9.19. Liners**

Los autores Kolahi et al. (2021), enfatiza que los liners o recubrimiento llamado también chutes. Son placas de diferente composición y dimensiones anti abrasivas de repelencia al agua y propiedades adicionales de resistencia al desgarró. Son utilizados en tolvas, embudos, alimentadores de bateas y en procesos de chancado o trituración de material rocoso para absorber impactos. Y en algunas condiciones para transportar material entre los distintos procesos mineros. Para fabricar estas piezas pueden utilizarse cerámicos, polietileno uhmwpe, acero al cromo-molibdeno, hierros blancos con alto contenido en cromo, o incluso acero al manganeso. La elección de la aleación tiene en cuenta el desgaste sufrido por los componentes durante el funcionamiento que se le da

a los liners, que puede deberse a desgaste por abrasión, fricción o erosión. Dado que la composición del mineral, la humedad ambiental y las dimensiones del equipo cambian y afectan al tipo de tratamiento que sufre los liners.

**Figura N°44:** *Liners o chutes del cilindro del molino de bolas outotec 24'x36'.*



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

**Figura N°45:** *Revestimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.10. Modo de falla.**

Para identificar los efectos sobre los componentes del molino de bolas outotec de 24'x36' en sus distintos sistemas, se planteó la pregunta ¿De qué manera puede fallar?, los modos de falla para las fichas AMEF fueron lo siguiente (Ver tabla 8).

#### **4.11. Efecto de falla.**

Para fines prácticos se realizó la pregunta ¿Qué pasa cuando falla?, interrogante con la cual se pudo identificar los efectos (Ver tabla 9).

#### **4.12. Causas de la falla**

Con esta interrogante encontramos las posibles razones de porque se dio la falla ¿Qué causo el fallo?, se obtienen las causas del fallo. (Ver tabla 10).

Luego de ello se realizó el análisis del árbol de fallas de modo deductivo de los sistemas y componentes más críticos donde se da las posibles causas de falla.

**Tabla N°25:** Modos de fallas de sistemas del molino de bolas outotec de 24'x36'.

Sistemas	Componente	Función	Modos de fallas
Eléctrico	Motor eléctrico principal	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el reductor	Desgaste prematuro de carbones
			Falso contacto en bomes
			Rotura de barras
Transmisión	Reductor principal	Reducción de velocidad para aumentar el torque	Desgaste de rodamientos, desalineamiento de eje
	Contraeje	Transmisión de energía del piñon hacia la corona	Rotura de dientes, desgaste de rodamientos
	Corona	Rotación a alto torque, produciendo el giro del molino	Rotura de dientes, alta fricción entre los dientes del piñon
Carga y descarga	Spout feeder	Alimentar mineral al molino	Desgaste de liners y/o placa base
	Trommel	Evitar caída de elementos de conminución al cajón de descarga	Rotura de mallas, fisura estructura base
Soporte	Trunnion de carga	Soporta el extremo de carga del molino apoyado en la chumacera de carga	Fisuras en el trunnion, desgaste de casquillo
	Trunnion de descarga	Soporta el extremo de descarga del molino apoyado en la chumacera de descarga	Fisuras en el trunnion, desgaste de casquillo
Lubricación	Bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Rotura de eje Desgaste de casquillos
	Bomba de engranajes de lubricación del motor	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Rotura de dientes de engranajes Rotura de sellos Desgaste de rodamientos de bola
	Bomba de engranajes de recirculación	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Rotura de dientes de engranajes Rotura de sellos, desgaste de rodamientos de bolas
Inching drive	Motor auxiliar	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el inching drive	Desgaste prematuro de carbones Falso contacto en bomes, desgaste de rodamientos
	Reductor auxiliar	Reducción de velocidad para incrementar el torque	Rotura de dientes Desgaste de rodamientos
cuerpo	lifter	Levantadores de la mezcla al interior y revestimiento interno	Mezcla no homogénea, disminución de impacto y abrasión
	liners	Revestimiento interno	Desgaste y rotura de revestimiento

Fuente: *Elaboración propia.*



**Tabla N°26:** Efectos de falla del sistema del molino de bolas outotec de 24'x36'.

Sistemas	Componente	Función	Efectos de fallas
Eléctrico	Motor eléctrico principal	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el reductor	Generación excesiva de chispas en el rotor, corto circuito
			Incremento de temperatura
Transmisión	Reductor principal	Reducción de velocidad para incrementar el torque	Incremento de vibración y temperatura
	Contraeje	Transmisión de energía del piñón hacia la corona	Incremento de vibración y temperatura
	Corona	Rotación a alto torque, produciendo el giro del molino	Incremento de vibración y temperatura
Carga y descarga	Spout feeder	Alimentar mineral al molino	Fuga de mineral
	Trommel	Evitar caída de elementos de conminución al cajón de descarga	Separación inadecuada de bolas de acero y mineral
Soporte	Trunnion de carga	Soporta el extremo de carga del molino apoyado en la chumacera de carga	Incremento de vibración
	Trunnion de descarga	Soporta el extremo de descarga del molino apoyado en la chumacera de descarga	Incremento de vibración
Lubricación	Bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Incremento de vibración y temperatura
	Bomba de engranajes de lubricación del motor	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Incremento de vibración y temperatura
			Incremento de vibración y temperatura
Bomba de engranajes de recirculación	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Calidad de material deficiente	
Inching drive	Motor auxiliar	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el Inching drive	Polución, incremento de vibración y temperatura
	Reductor auxiliar	Reducción de velocidad para incrementar el torque	Suciedad
cuerpo	lifter	Levantadores de la mezcla al interior y revestimiento interno	Rendimiento bajo del molino, mala molienda
	liners	Revestimiento interno	Ruido excesivo

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla N°27:** Causas de la falla del molino de bolas outotec de 24'x36'.

Sistemas	Componente	Función	Causas de fallas
Eléctrico	Motor eléctrico principal	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el reductor	Polución y suciedad
			Aumento anómalo de corriente
			Mal ajuste de bornes
			Falta de lubricación
Transmisión	Reductor principal	Reducción de velocidad para incrementar el torque	Falta de lubricación
	Contraeje	Transmisión de energía del piñon hacia la corona	Incremento de juego radial y/o axial
	Corona	Rotación a alto torque, produciendo el giro del molino	Backlash anómalo en engranajes, falta de lubricación
Carga y descarga	Spout feeder	Alimentar mineral al molino	Desgaste de liners y/o placa base
	Trommel	Evitar caída de elementos de conminución al cajón de descarga	Desgaste prematuro de sellos y lifter
Soporte	Trunnion de carga	Soporta el extremo de carga del molino apoyado en la chumacera de carga	Inestabilidad del molino Falta de lubricación
	Trunnion de descarga	Soporta el extremo de descarga del molino apoyado en la chumacera de descarga	Inestabilidad del molino Falta de lubricación
Lubricación	Bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Sobre esfuerzo axiales y radiales Backlash anómalo en engranajes
	Bomba de engranajes de lubricación del motor	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Pérdida de presión y disminución de caudal Falta de lubricación Backlash anómalo en engranajes
	Bomba de engranajes de recirculación	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite	Pérdida de presión y disminución de caudal Falta de lubricación
Inching drive	Motor auxiliar	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el inchng drive	Generación en exceso de chispas del rotor Mal ajuste en bornes
	Reductor auxiliar	Reducción de velocidad para incrementar el torque	Falta de lubricación Backlash anómalo en engranajes
cuerpo	lifter	Levantadores de la mezcla al interior y revestimiento interno	Errores de diseño, material inadecuado
	liners	Revestimiento interno	Mantenimiento inadecuado, material inadecuado, errores de diseño

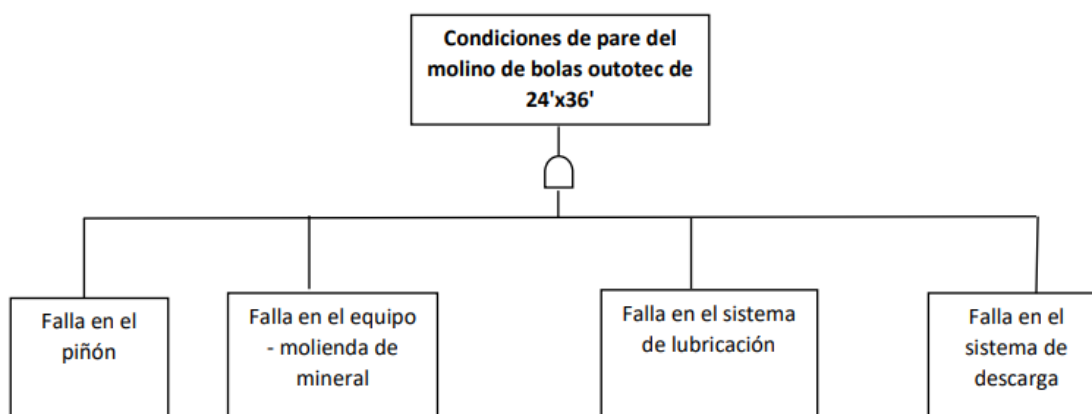
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.13. Árboles de falla de los modos correctivos más críticos del molino de bolas outotec de 24'x36'

En el siguiente apartado se realizarán árboles de falla correspondientes a los modos correctivos de los sistemas más críticos del molino de bolas outotec; para que al momento en que se presente una falla o posibles fallas, los árboles sirvan como herramienta para poder determinar de una forma mucho precisa y rápida el origen de ésta.

A continuación, se muestra el árbol de fallas del molino de bolas outotec de 24'x36' y de las posibles causas de inoperatividad que se dedujo gracias a las tablas. N° 25, 26 y 27.

**Figura N°46:** *Árbol de falla general del molino de bolas outotec de 24'x36'. – Condiciones de parar el equipo.*

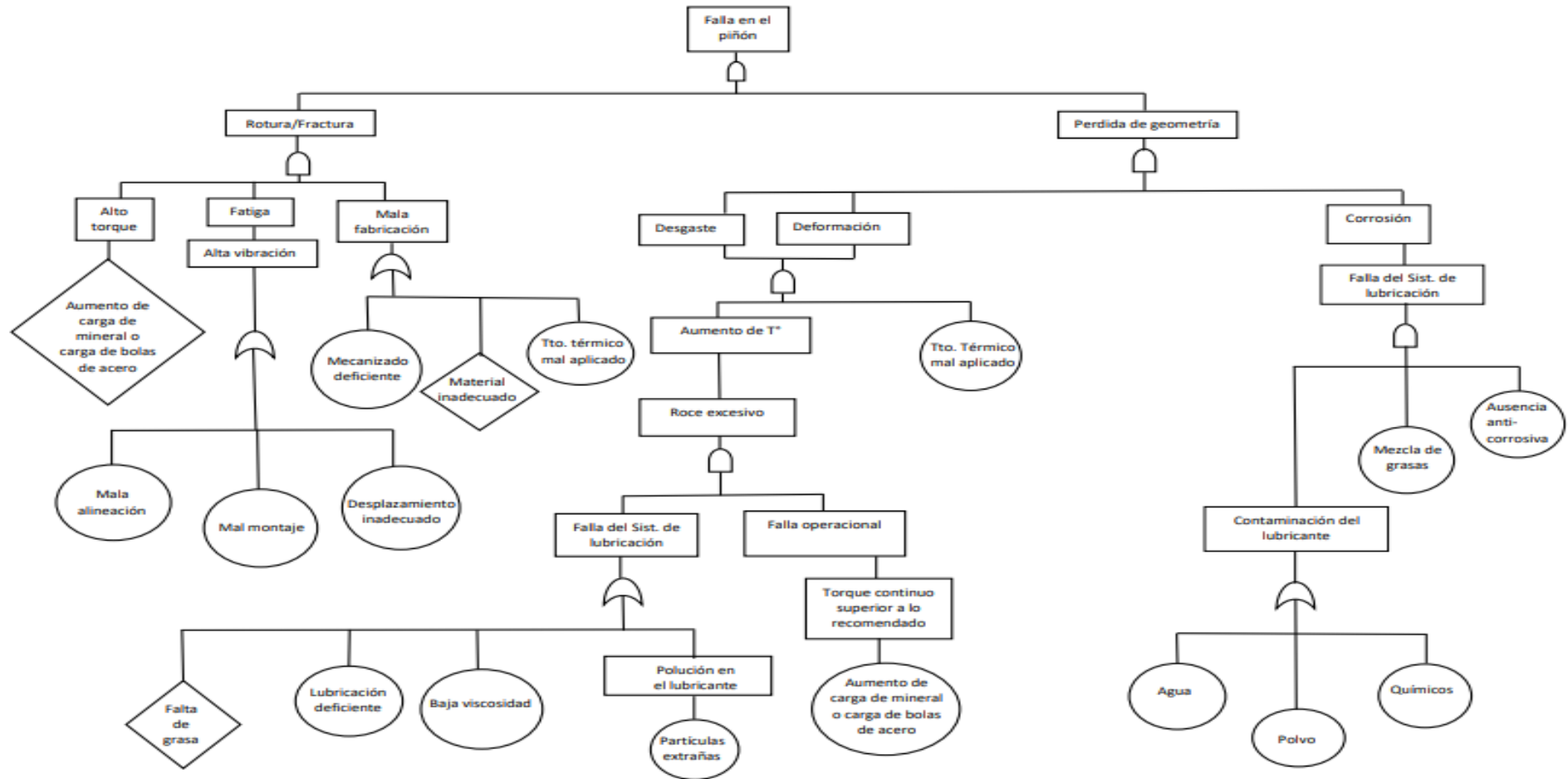


**Fuente:** *Elaboración propia*



4.13.1. Árbol de Falla Piñón

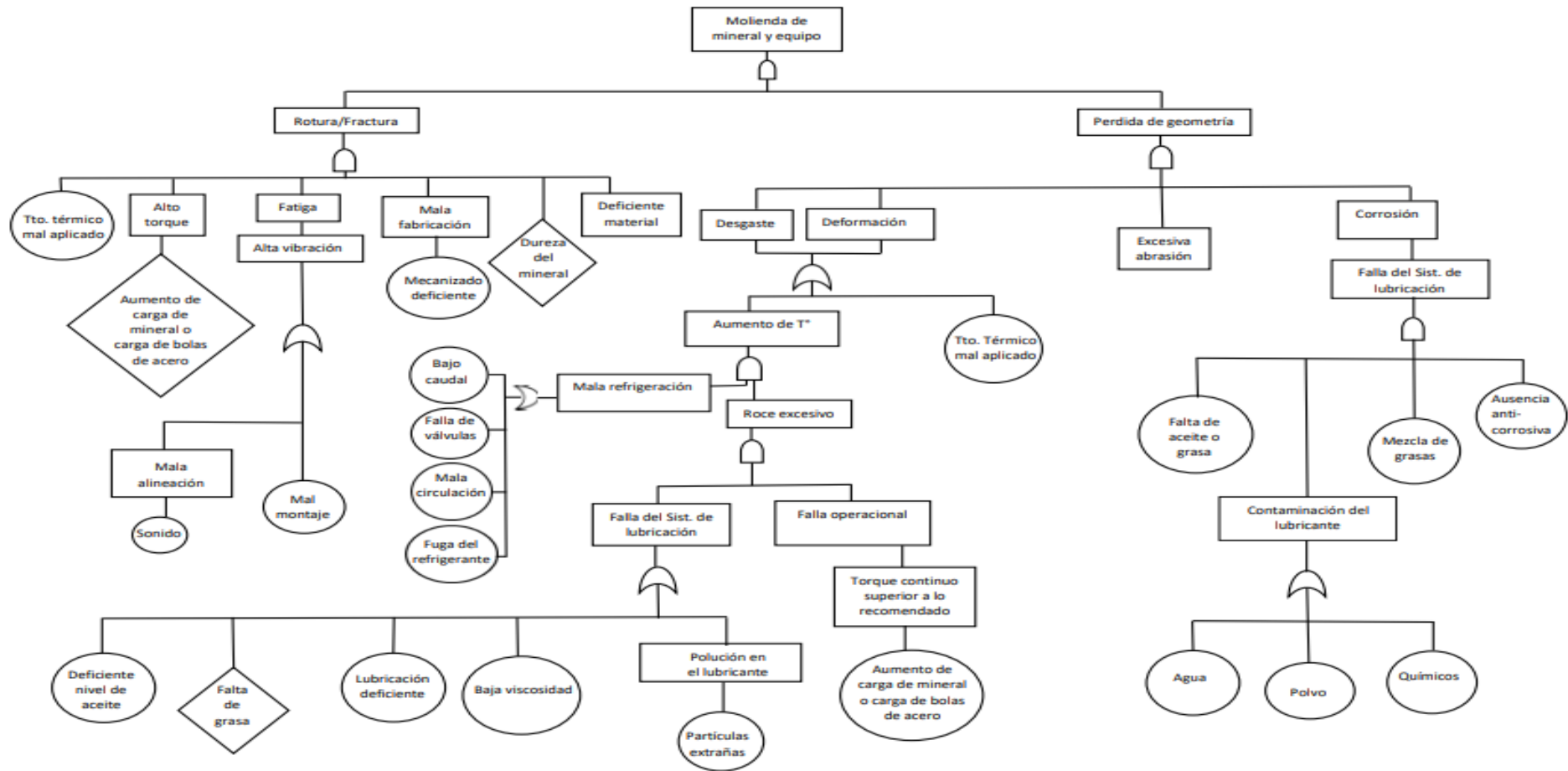
Figura N°47: Árbol de fallas del piñón.



Fuente: *Elaboración propia.*

4.13.2. Árbol de falla molienda de mineral y equipo

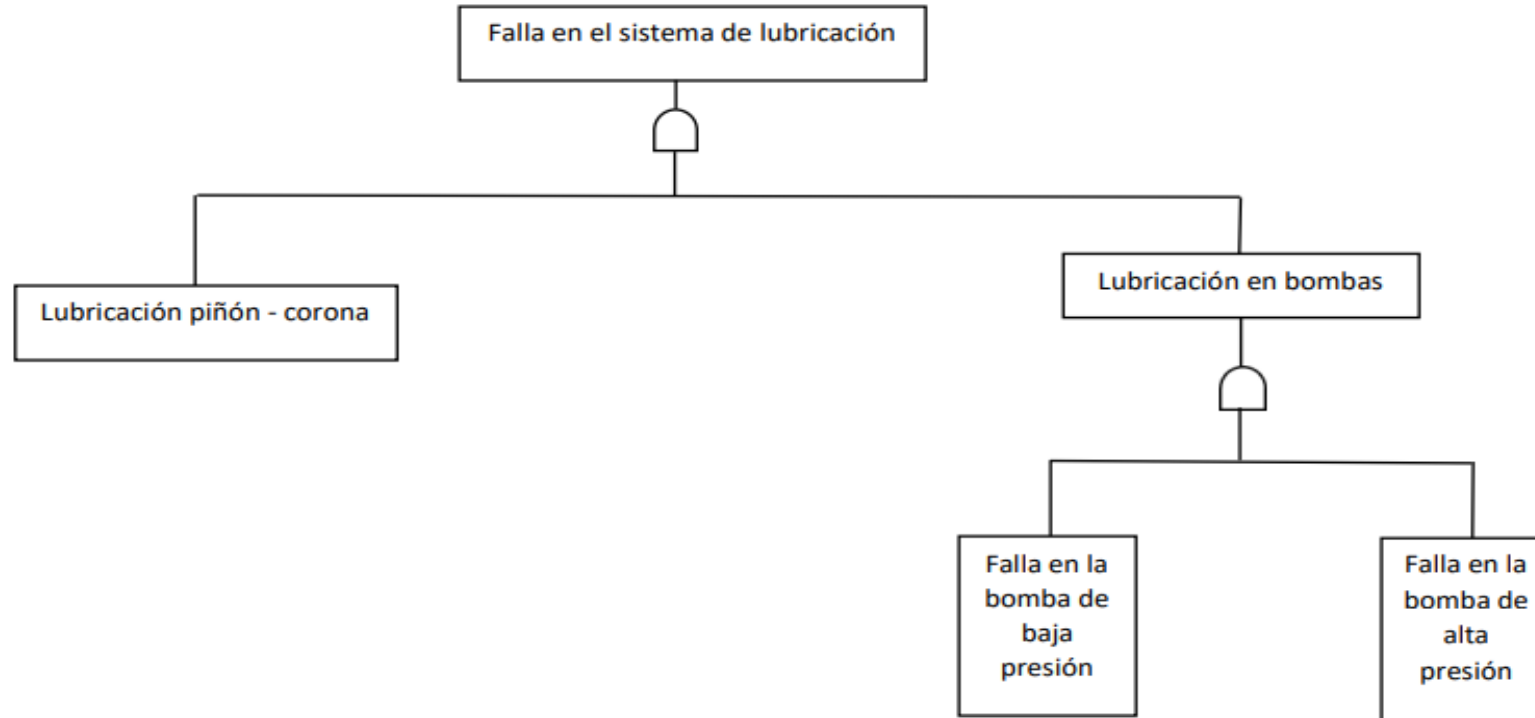
Figura N°48: Árbol de fallas de molienda de mineral y equipo.



Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.13.3. Árbol de falla sistema de lubricación

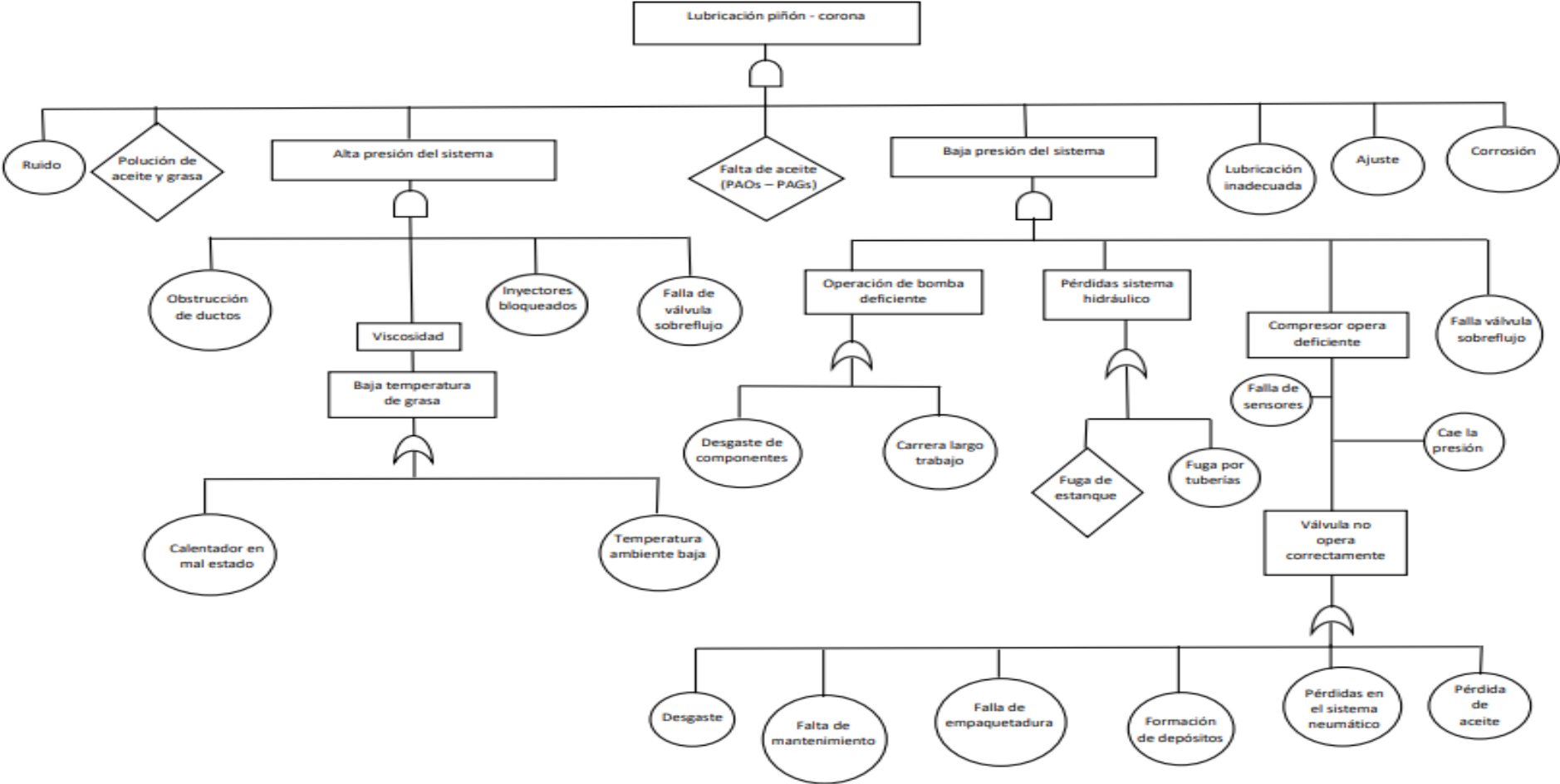
Figura N°49: Árbol de fallas general del sistema de lubricación.



Fuente: *Elaboración propia.*

4.13.4. Árbol falla sistema lubricación piñón – corona

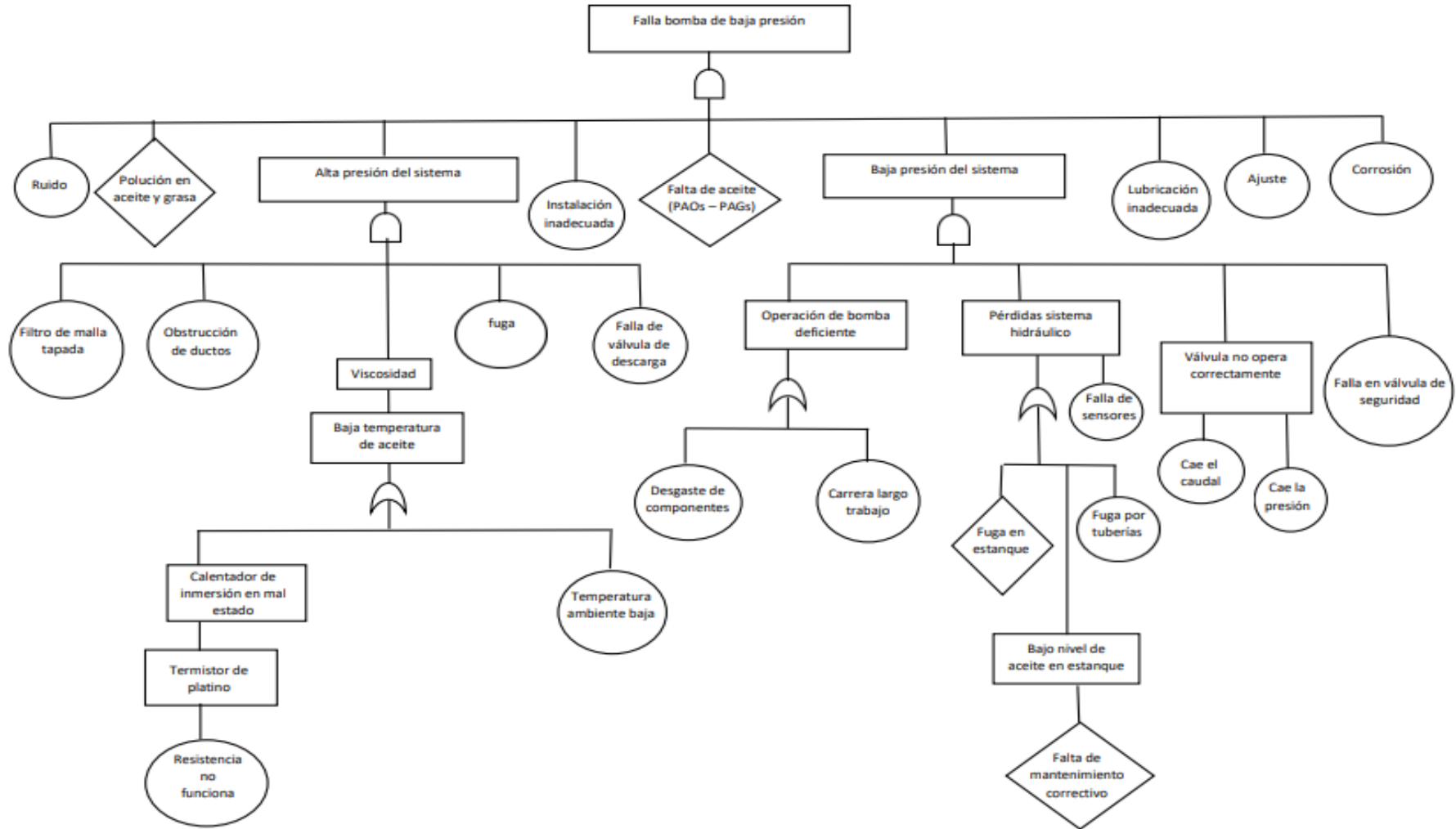
Figura N°50: Árbol de fallas del sistema de lubricación piñón – corona.



Fuente: Elaboración propia.

4.13.5. **Árbol de falla sistema de bomba de lubricación de presión baja**

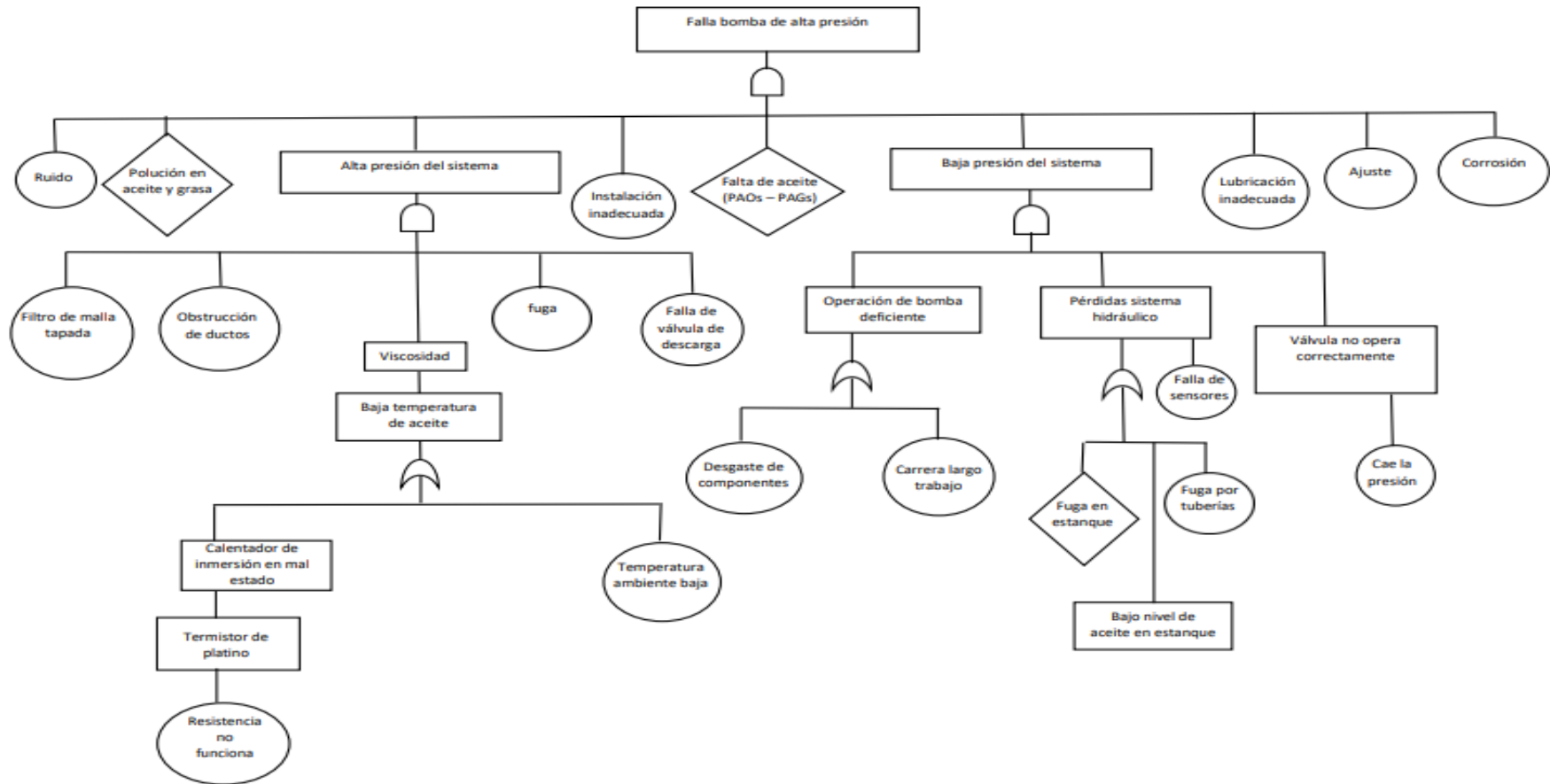
Figura N°51: *Árbol de falla bomba de baja presión.*



Fuente: *Elaboración propia.*

4.13.6. **Árbol de falla sistema de bomba de lubricación de presión alta**

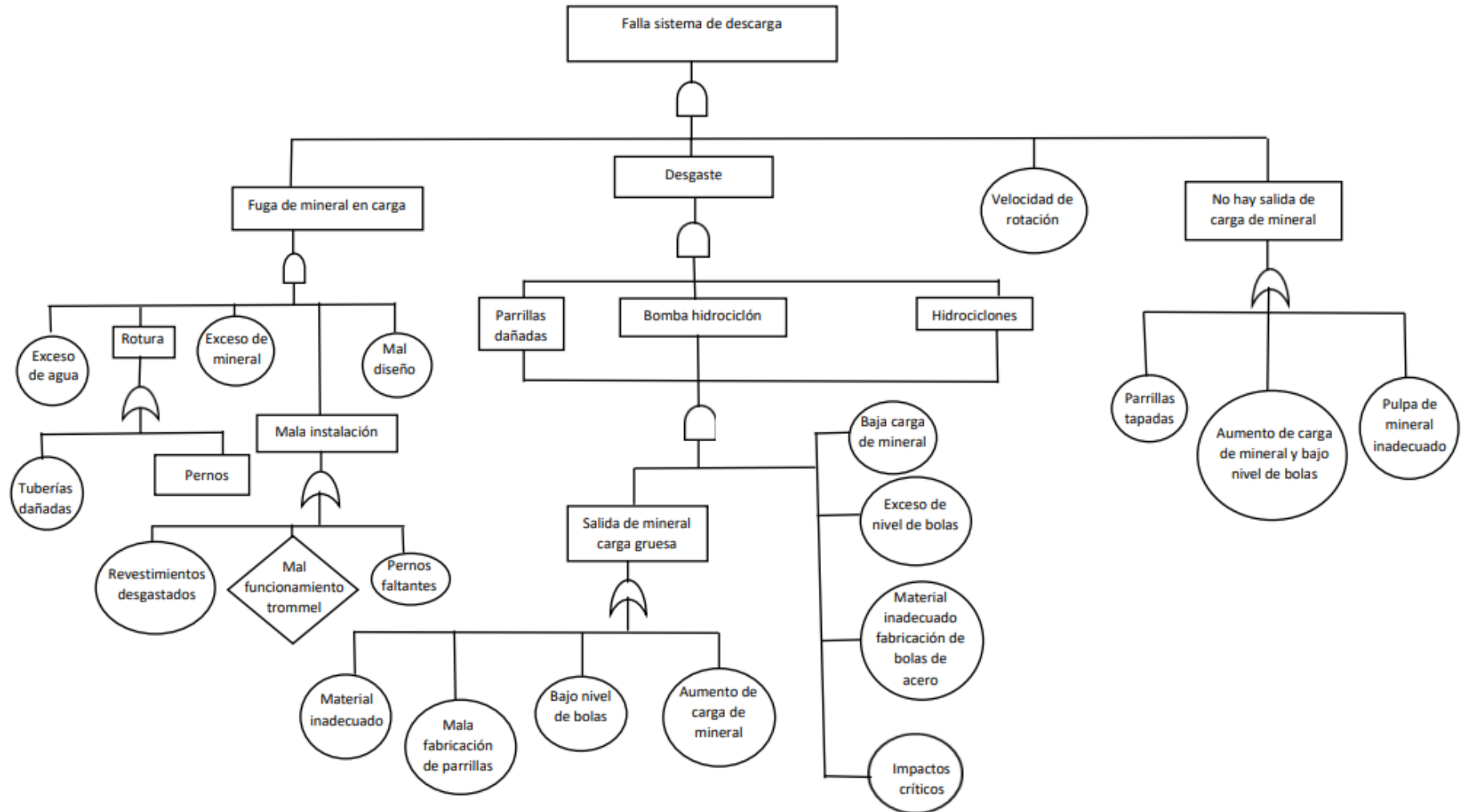
Figura N°52: *Árbol de falla bomba de alta presión.*



Fuente: *Elaboración propia.*

4.13.7. Árbol de falla del sistema de descarga

Figura N°53: Árbol de falla en descarga.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.14. Número de prioridad de riesgo (NPR)

La probabilidad de que este fallo sea crítico se establece en un rango de valores a partir de la multiplicación de la severidad, ocurrencia y detección como se verá en las fichas AMEF, es decir, es el valor que establece la prioridad de una falla del sistema o componente. Gracias a este análisis se prioriza las actividades en un plan de mantenimiento preventivo o correctivo.

Deben cumplirse las siguientes condiciones para empezar a construir las tablas de AMEF:

- La elaboración de los modos de falla.
- La elaboración de los efectos de falla
- La elaboración de la causa de la falla
- Como último detalle plantear, el número de prioridad de riesgos (NPR).

$$\text{NPR} = \text{Severidad} * \text{ocurrencia} * \text{detección}$$

En cuanto a la seguridad de las personas, las herramientas y el entorno, existen tres niveles de gravedad: alto, medio y bajo.

**Tabla N°28:** *Criterio NPR para severidad.*

Ranking	Criterio	Severidad
10	Afecta a la seguridad del personal, planta y medio ambiente	Alta
9	Cambio el estado de operación del sistema pero no implica fallos de seguridad	
8		
7	Fallas notables de desempeño del sistema	Moderada
6		
5		
4		
3	leve deterioro del sistema	Baja
2		
1		

**Fuente:** *Elaboración propia.*



La ocurrencia está representada por cinco niveles: muy alta, alta, moderada, baja y remota.

**Tabla N°29:** *Criterio NPR para ocurrencia.*

Ranking	Criterio	Probabilidad	Ocurrencia
10	1 de 2	5.000000E-01	Muy alta, fallo inevitable
9	1 de 3	3.333333E-01	
8	1 de 8	1.250000E-01	
7	1 de 20	5.000000E-02	Alta, fallo reiterados
6	1 de 80	1.234568E-02	Moderada, fallos ocasionales
5	1 de 400	2.500000E-03	
4	1 de 2000	5.000000E-04	
3	1 de 15000	6.666667E-05	Baja, pocos fallos
2	1 de 150000	6.666667E-06	
1	1 de 1500000	6.666667E-07	Remota, fallos poco probable

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En cuanto a los casos en los que se descubren los fallos señalados en las fichas de AMEF, la detección se representa mediante diez niveles de incertidumbre completa, muy remota, remota, remota, muy baja, moderada, moderadamente alta, alta, alta y casi segura.

**Tabla N°30:** *Criterio NPR para detección.*

Ranking	Criterio	Detección
10	Las Inspecciones diseñadas no puede detectar el fallo, o no existe una Inspección	Completamente Incierta
9	Existe una posibilidad muy remota de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Muy remota
8	Exite una posibilidad remota de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Remota
7	Exite una posibilidad muy baja de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Muy baja
6	Exite una posibilidad baja de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Baja
5	Exite una posibilidad moderada de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Moderada
4	Exite una posibilidad moderadamente alta de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Moderadamente alta
3	Exite una posibilidad alta de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Alta
2	Exite una posibilidad muy alta de detectar el mecanismo potencial de fallo o la causa del mismo	Muy alta
1	Las Inspecciones planeadas detectarán de forma segura el fallo	Segura

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla N°31:** *Rangos para número de prioridad de riesgo.*

Número de prioridad de riesgo (NPR)	Valor	Condición
Alto riesgo de falla	[500 - 1000]	INACEPTABLE
Probabilidad media de riesgo de falla	[125 - 499]	RIESGO ACEPTABLE
Bajo riesgo de falla	[1 - 124]	ACEPTABLE
No existe riesgo de falla	0	ACEPTABLE

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.15. Diagrama de flujo para desarrollar el AMEF

El método utilizado para analizar los modos de fallo y los efectos del molino de bolas outotec 24'x36' se muestra en el diagrama de flujo siguiente. En él se describe rápidamente cómo llegué a conocer los modos de fallo, los efectos y las causas, así como la importancia de la NPR. Con la ayuda de este procedimiento, podemos minimizar los riesgos a los que está expuesto el molino

de bolas outotec 24'x36' mientras funciona y evitar paradas imprevistas, así como disponer de un método de prevención documentado que se convierte en el plan de mantenimiento preventivo.

**Figura N°54:** *Flujograma del proceso para obtención del AMEF.*

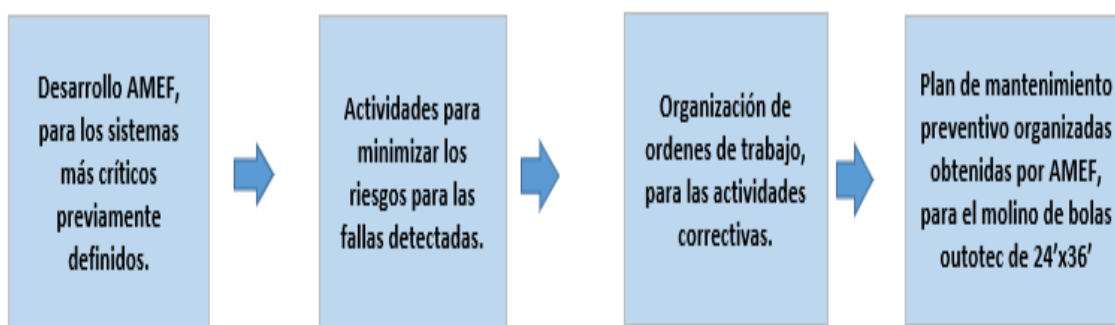


**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.16. Propuesta para el plan de mantenimiento preventivo

Para el plan de mantenimiento preventivo se obtuvieron las actividades más pertinentes para el desarrollo de la metodología AMEF de cada uno de los sistemas mencionados, que se analizaron previamente por criticidad teniendo en cuenta la ocurrencia, la gravedad y la detección.

**Figura N°55:** *Propuesta de plan de mantenimiento preventivo.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

## **CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIONES DE LOS RESULTADOS**

### **5.1. Resultados del AMEF por los sistemas del molino de bolas outotec de 24'x36'**

Los resultados del análisis AMEF para el molino de bolas outotec 24'x36' se obtuvieron utilizando fichas AMEF que elaboré y posteriormente se hace diagramas de árbol para un mejor entendimiento de las posibles fallas de cada sistema. Estas fichas tienen en cuenta características propias de los requisitos para una mayor organización de la información para cada componente, herramienta, sistema y área de estudio. Para elaborar este esquema, creé una breve descripción general del componente que iba a examinar. Con esta descripción, pude describir la función del componente. Con esta descripción, identifiqué el modo de fallo pensando en las razones por las que podría perder su función. Del mismo modo, para la causa del fallo, pensé en las razones por las que se produce el modo de fallo. La prioridad del riesgo se determina en función de la gravedad, la frecuencia y la detección de los fallos examinados. Culminando con la acción a tomar, que es la organización de las actividades identificadas en la estrategia sugerida para el mantenimiento y la prevención.

**5.2. AMEF del sistema eléctrico del molino de bolas outotec 24'x36'**

**Tabla N°32: AMEF para motor eléctrico del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 001
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL			
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Eléctrico	Componente: Motor Eléctrico				
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Motor eléctrico principal	Transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el reductor, con una potencia de (11.931kW).	Falso contacto en bornes	Incremento de temperatura	Mal ajuste en bornes	8	7	9	504	INACEPTABLE
		Rotura de barras	Incremento de temperatura	Aumento anómalo de corriente	7	8	8	448	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste prematuro de carbones Desgaste de carbones	Generación excesiva de chispas en rotor, corto circuito	Polución y suciedad	8	8	6	384	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste de babbit	Incremento de vibración	Falta de lubricación	6	6	7	252	RIESGO ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**5.3. AMEF del sistema de transmisión del molino de bolas outotec 24'x36'**

**Tabla N°33: AMEF para reductor principal del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL REDUCTOR PRINCIPAL DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 002	
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL			
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Transmisión		Componente: Reductor principal			
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO	
Reductor principal (2101-PL2 MOLI-MOLP-MOL0001-600002101-800008808) Marca SIEMENS	Reducción de velocidad (900rpm - 152.7 rpm) aumentando el torque (68,967.14 Nm - 406,543.00 Nm)	Rotura de dientes	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	8	8	7	448	RIESGO ACEPTABLE	
		Desgaste de rodamientos	Incremento de vibración y temperatura	Incremento de juego radial y/o axial entre pista y rodillos	6	7	6	252	RIESGO ACEPTABLE	
		Desalineamiento de ejes	Incremento de vibración y temperatura	Incremento de vibración y temperatura	4	5	3	60	ACEPTABLE	
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10			NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

Fuente: *Elaboración propia.*



**Tabla N°34: AMEF para contraeje del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL CONTRAEJE DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 003
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL		
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Transmisión		Componente: contraeje		
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Contraeje (2101-PL2-MOLI MOLP-MOLO001-600002101-800008810) Marca METSO	Transmisión de energía del piñón ala catalina (21 dientes helicoidales)	Rotura de dientes	Incremento de vibración y temperatura	Reacción violenta y anómalo en engranajes	3	7	9	189	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste de rodamientos	Incremento de vibración y temperatura	Incremento de juego radial y/o axial entre pista y rodillos	9	6	8	432	RIESGO ACEPTABLE
		Desalineamiento de eje	Incremento de vibración y temperatura	Reacción violenta y anómalo en engranajes	2	8	6	96	ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla N°35:** AMEF para catalina del molino de bolas outotec 24'x36'.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DE LA CATALINA DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 004
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL		
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Transmisión	Componente: Catalina			
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Catalina (2101-PL2-MOLI-MOLP MOL0001-600002101-800011844 Marca METSO 800008810) Marca METSO	Rotación a alto torque, produciendo el giro del molino (236 dientes rectos)	Rotura de dientes	Incremento de vibración y temperatura	Reacción violenta y anómalo en engranajes	3	8	9	216	RIESGO ACEPTABLE
		Alta fricción entre dientes de contacto con piñón	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	4	9	9	324	RIESGO ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable =1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad =1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NPR Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**5.4. AMEF del sistema de carga y descarga del molino de bolas outotec 24'x36'**

**Tabla N°36:** AMEF para spout feeder del molino de bolas outotec 24'x36'.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL SPOUT FEEDER DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 005	
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL			
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Carga y descarga	Componente: Spout feeder				
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO	
Spout feeder (2101-PL2-MOLI MOLP-MOL0001-600002112-800008846) Marca METSO	Alimentar mineral al molino	Perforación de liners y/o placa base	Fuga de mineral	Desgaste prematuro de liners y/o placa base	5	4	7	140	RIESGO ACEPTABLE	
		Rotura de sellos de ingreso al molino	Fuga de mineral	Desgaste prematuro de sellos	7	8	8	448	RIESGO ACEPTABLE	
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10			NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla N°37: AMEF para trommel del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL TROMMEL DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 006
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:		LAUREANO CRISTOBAL ANGEL	
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Carga y descarga	Componente: Trommel			
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Trommel (2101-PL2-MOLI-MOLP MOL0001-600002112- 800008847) Marca METSO	Evita la caída de elementos de conminución al cajón de descarga	Rotura de mallas	Caída de bolas de acero al cajón y atoro de bomba de lodos	Caída de bolas al cajón de descarga	8	8	8	512	INACEPTABLE
		Fisura estructura base	Caída de bolas de acero al cajón y atoro de bomba de lodos	Desprendimiento de mallas	6	7	6	252	RIESGO ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**5.5. AMEF del sistema de soporte del molino de bolas outotec 24'x36'**

Tabla N°38: AMEF para trunnion de carga del molino de bolas outotec 24'x36'.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL TRUNNION DE CARGA DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 007
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL		
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Soporte	Componente: Trunnion de carga			
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Trunnion de carga (2101-PL2-MOLI-MOLP-MOL0001-600002110-800011846) Marca NCP	Soporta el extremo de carga del molino apoyado en la chumacera de carga	Fisuras de trunnion	Incremento de vibración	Inestabilidad del molino	5	10	8	400	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste de casquillo	Incremento de vibración	Falta de lubricación	6	10	7	420	RIESGO ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable =1 Poca probabilidad =2 - 3 Probabilidad media =4 - 6 Alta probabilidad =7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad =1 Baja severidad =2 - 3 Severidad promedio =4 - 6 Severidad alta =7 - 8 Muy alta severidad =9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable =1 Poca probabilidad =2 - 3 Probabilidad media =4 - 6 Alta probabilidad =7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo =0			

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla N°39:** AMEF para trunnion de descarga del molino de bolas outotec 24'x36'.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL TRUNNION DE DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 008
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL			
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Soporte	Componente: Trunnion de descarga				
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Trunnion de descarga (2101-PL2-MOLI-MOLP-MOL0001-600002110-800011847) Marca NCP	Soporta el extremo de descarga del molino apoyado en la chumacera de descarga	Fisuras de trunnion	Incremento de vibración	Inestabilidad del molino	10	10	8	800	INACEPTABLE
		Desgaste de casquillo	Incremento de vibración	Falta de lubricación	9	10	7	630	INACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** Elaboración propia.

**5.6. AMEF del sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36'**

**Tabla N°40: AMEF para bomba de tornillo de lubricación trunnion bearing - motor del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS BOMBA DE TORNILLO DE LUBRICACIÓN TRUNNION BEARING DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 009	
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL				
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Lubricación	Componente: Bomba de tornillo					
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO	
Bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing (2101-PL2-MOLI-MOLP-MOL0001-600002105-800008827) Marca SEIM	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite. (Presión de trabajo 120 bar ó 1740 psi y Flujo volumétrico 600 l/m)	Rotura de eje	Incremento de vibración y temperatura	Sobre esfuerzos axiales y radiales	7	6	9	378	RIESGO ACCEPTABLE	
		Desgaste de casquillos	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	6	8	6	288	RIESGO ACCEPTABLE	
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10			NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla N°41: AMEF para la bomba de engranajes del motor del molino de bolas outotec 24’x36’.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS BOMBA DE ENGRANAJES DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24’X36’									AMEF - 010
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL			
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Lubricación	Componente: Bomba de engranajes				
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Bomba de engranajes de lubricación de motor (2101-PL2-MOLI-MOLP-MOL0001-600002105-800008833) Marca OMS	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite (Presión de trabajo 170 bar a 1100 rpm)	Rotura de dientes de engranajes	Incremento de vibración y temperatura	Backlash anómalo en engranajes	7	6	9	378	RIESGO ACEPTABLE
		Rotura de sellos	Calidad de material deficiente	Pérdida de presión y disminución de caudal	7	8	8	448	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste de rodamientos de bolas	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	6	8	6	288	RIESGO ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

Fuente: *Elaboración propia.*



**Tabla N°42: AMEF para bomba de engranajes de recirculación del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS BOMBA DE ENGRANAJES DE RECIRCULACIÓN DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'								AMEF - 011	
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL			
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Lubricación	Componente: Bomba de engranajes de recirculación				
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Bomba de engranajes de recirculación (2101-PL2-MOLI MOLF-MOL0001-600002105-800008845) Marca OMSA	Transforma energía mecánica en energía hidráulica para circular aceite (Presión de trabajo 170 bar a 1100 rpm)	Rotura de dientes de engranajes	Incremento de vibración y temperatura	Backlash anómalo en engranajes	8	6	9	432	RIESGO ACEPTABLE
		Rotura de sellos	Calidad de material deficiente	Pérdida de presión y disminución de caudal	7	6	8	336	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste de rodamientos de bolas	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	7	8	9	504	INACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

Fuente: *Elaboración propia.*

**5.7. AMEF del sistema inching drive del molino de bolas outotec 24’x36’**

**Tabla N°43:** AMEF para motor auxiliar del molino de bolas outotec 24’x36’.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL MOTOR AUXILIAR DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24’X36’									AMEF - 012
Fecha:	05/12/2022			Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL		
Área:	Molienda secundaria			Sistema :	Inching drive	Componente: Motor auxiliar			
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO
Motor auxiliar (2101-PL2-MOLI MOLP-MOL0001-600002111-800008821) Marca WEG	transforma energía eléctrica en energía mecánica de rotación, accionando el inching con una potencia de (132 KV; 241 A)	Desgaste prematuro de carbones	Polución y suciedad	Generación en exceso de chispas del rotor	7	8	9	504	INACEPTABLE
		Falso contacto en bornes	Incremento de temperatura	Mal ajuste en bornes	7	7	8	392	RIESGO ACEPTABLE
		Desgaste de rodamientos	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	5	8	7	280	RIESGO ACEPTABLE
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°44:** AMEF para reductor auxiliar del molino de bolas outotec 24'x36'.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS REDUCTOR AUXILIAR DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 013	
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL				
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Inching drive	Componente: Reductor auxiliar					
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO	
Reductor auxiliar (2101-PL2-MOLI-MOLP-MOL0001-600002111-800008809) Marca Siemens	Reducción de velocidad aumentando el torque (846 Nm)	Rotura de dientes	Incremento de vibración y temperatura	Backlash anómalo en engranajes	6	5	7	210	RIESGO ACEPTABLE	
		Desgaste de rodamientos	Incremento de vibración y temperatura	Falta de lubricación	5	7	6	210	RIESGO ACEPTABLE	
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10			NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°45: AMEF para recubrimientos del molino de bolas outotec 24'x36'.**

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DEL CUERPO DEL MOLINO DE BOLAS OUTOTEC DE 24'X36'									AMEF - 014	
Fecha:	05/12/2022		Equipo - Marca:	Molino de bolas - OUTOTEC	Elaborado:	LAUREANO CRISTOBAL ANGEL				
Área:	Molienda secundaria		Sistema :	Cuerpo	Componente: Recubrimiento interno					
Descripción de componente	Función de componente	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa de falla	O	S	D	NPR	ESTADO	
Recubrimiento interno del molino - liners	Protección interna del cuerpo del molino	Mezcla no homogénea y disminución de impacto	Mala conminución	Errores de diseño y uso de material inadecuado	8	9	9	648	INACEPTABLE	
		Desgaste y rotura de revestimientos	Ruido excesivo	Errores de diseño y uso de material inadecuado	10	8	9	720	INACEPTABLE	
Probabilidades de ocurrencia de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10		Rangos de severidad de fallas. Muy baja severidad = 1 Baja severidad = 2 - 3 Severidad promedio = 4 - 6 Severidad alta = 7 - 8 Muy alta severidad = 9 - 10		Probabilidades de detección de fallas. Altamente improbable = 1 Poca probabilidad = 2 - 3 Probabilidad media = 4 - 6 Alta probabilidad = 7 - 8 Muy probable = 9 - 10			NRP Alto riesgo de falla = 500 - 1000 Probabilidad media de riesgo = 125 - 499 Bajo riesgo de falla = 1 - 124 No existe riesgo = 0			

**Fuente:** *Elaboración propia.*

## 5.8. Presentación del plan de mantenimiento preventivo

El propósito de un plan de mantenimiento es proporcionarles a los técnicos y planificadores de mantenimiento la información y los procedimientos generales requeridos para mantener, resolver problemas y reparar de manera eficaz el molino de bolas outotec de 24'x36' y sus sistemas auxiliares.

Esta es una lista general de las actividades de mantenimiento cuya intención es cubrir todos los sistemas posibles del molino de bolas outotec de 24'x36'.

- Lubricación.

Consulte las Hojas de verificación de mantenimiento preventivo y lubricación.

- Limpieza.

Consulte las Hojas de verificación de mantenimiento preventivo.

- Inspección y ajuste.

Consulte las Hojas de verificación de mantenimiento preventivo.

- Reemplazo de repuestos
- Piezas de recambio.
- Prueba funcional

Una parada completa del molino de bolas outotec de 24'x36' por lo general se define como una parada que durará más de 24 horas de duración o días tal que se identifiquen todas las energías a bloquear que dan funcionamiento al molino de bolas, apagar el equipo, aislar las fuentes de energía, bloquear y etiquetar, desenergizar energías residuales y prueba de energía cero para su mantenimiento o reparación de los componentes dañados. Para realizar una

parada completa del molino, se elimina el material extraído de los alimentadores, correa transportadora de alimentación y de lo posible descarga de las bolas de acero del molino y/o lavado del interior con abundante agua bruta de las paredes del casco y ventilación asistida.

Tener en cuenta lo siguiente:

1. Detenga el sistema de carga de bolas al molino.
2. Veinte minutos antes de detener la carga de material extraído, haga los cambios siguientes en los ajustes del controlador.
  - 2.1. Reduzca la velocidad de carga del molino en un 10%.

Nunca permita que el molino funcione sin una cantidad suficiente de fangos. Sin el amortiguamiento de los fangos, las bolas de trituración chocan directamente contra los revestimientos y pueden ocasionar daños graves. Además, haga que un operador monitoree el sonido en el lado de giro descendente del molino de bolas outotec de 24'x36' durante el procedimiento de parada.

El operador de la sala de control puede monitorear la presión de los cojinetes y la extracción de potencia y, si es necesario, disminuir la velocidad del molino si ésta decae a mayor rapidez que la esperada.

- 2.2. Aumente el flujo de agua en la canaleta de carga del molino en un 10%.

Estas acciones ayudan a enjuagar las partículas finas de material extraído al aumentar el flujo de agua al molino y al reducir la tasa de alimentación del material extraído. Esto hace que la carga del molino de bolas quede limpia.

3. Un minuto antes de detener la alimentación del molino, coloque el controlador de flujo de agua de la canaleta de carga del molino en el modo manual y establezca la salida al flujo de agua actual.

4. Detenga los alimentadores de material extraído al molino de bolas outotec de 24'x36'.

5. Observe cuidadosamente la extracción de potencia del molino. La extracción de potencia disminuye gradualmente durante aproximadamente 1 minuto, y luego comienza a disminuir muy rápidamente. Apenas se detecta esta disminución rápida de potencia y aumento del sonido, detenga el molino.

De acuerdo con la desaceleración programada, el molino disminuye su velocidad hasta un valor cero cuando se detiene el molino utilizando el botón normal de parada. La carga se encuentra en el fondo del molino de bolas. (El molino está equilibrado.) Los frenos del molino permanecen liberados a lo largo del proceso normal de parada.

El molino continúa descargando algo de agua y finos a través del muñón de descarga y al interior del sumidero de descarga del molino de bolas.

6. Si el transportador de alimentación del molino de bolas no se detiene en un enclavamiento, apáguelo.

7. Cierre la válvula de control de flujo del agua de alimentación al molino de bolas utilizando el controlador de flujo DCS.

8. Si se espera que la parada sea de larga duración, consulte con el supervisor con respecto a cuál de los sistemas auxiliares del molino deben apagarse.

9. Si la parada va a durar más de un turno o si las válvulas de control del agua de proceso tienen fugas, cierre las válvulas de aislamiento corriente arriba de las válvulas de control.

10. Póngase en contacto con el supervisor y verifique que los sistemas de lubricación y los sistemas de frenado del molino deberán apagarse antes de proceder con las acciones siguientes.

Las acciones siguientes apagan los sistemas de lubricación del molino y los sistemas de frenado del molino. Normalmente, los sistemas de lubricación y de frenado del molino de bolas permanecen en funcionamiento, salvo para el caso de una parada extendida.

11. Coloque los calentadores del depósito de aceite de lubricación de los muñones en el modo apagado para asegurarse de que no estén realizando un ciclo de encendido, calentando de este modo el aceite de lubricación.

Sólo apague los calentadores del depósito de aceite de lubricación si la parada va a durar más de 24 horas.

12. Apague el equipo auxiliar del molino de bolas. Cada uno de los sistemas auxiliares podrán apagarse de manera independiente. Siga las secuencias listadas aquí si se utiliza una parada manual. Esto permite que el sistema se enfríe antes de la parada.

12.1. Detenga el ventilador de enfriamiento del convertidor de excitación.

12.2. Apague los ventiladores de sobrepresurización.

13. Apague el sistema de frenos del molino.

Los frenos se activan cuando se apaga el sistema

13.1. Detenga la bomba de fluido hidráulico.

13.2. Asegúrese de que los acumuladores descarguen al depósito.

14. Apague el sistema de lubricación de los cojinetes principales del molino.

14.1. Desactive la bomba de carga del acumulador de lubricación del molino.

14.2. Detenga las bombas de lubricación de alta presión.

14.3. Detenga la bomba de lubricación de baja presión.

14.4. Detenga el flujo de agua de enfriamiento a través de los intercambiadores térmicos.



15. Inspeccione el área del molino de bolas outotec para asegurarse de que no haya fugas importantes de agua o aire desde la tubería del sistema.

### **5.8.1. Tareas del operador**

Los operadores deben realizar ciertas tareas relacionadas con el equipo del molino y sus operaciones. Algunas de las tareas del operador para el área del molino de bolas outotec de 24'x36' se enumeran a continuación.

- Operación del molino
- Carga previa del molino
- Molino - Reptación
- Molino - Cambio de la dirección de rotación

Para operar el molino de manera eficiente, el operador debe tener en cuenta cómo interactúan las diversas variables operativas del molino. Estas interacciones son regidas por las características de carga del molino de bolas, así como por las restricciones de producción

Algunas variables que tienen un efecto en la operación del molino de bolas outotec son:

- Dureza del material extraído.
- Densidad del material extraído.
- Distribución de tamaños de partícula de alimentación del material extraído.
- Velocidad de carga del material extraído.
- Caudal del agua de alimentación al molino.
- RPM del molino de bolas outotec.
- Nivel de carga de bolas.
- Densidad de los fangos del molino de bolas outotec.

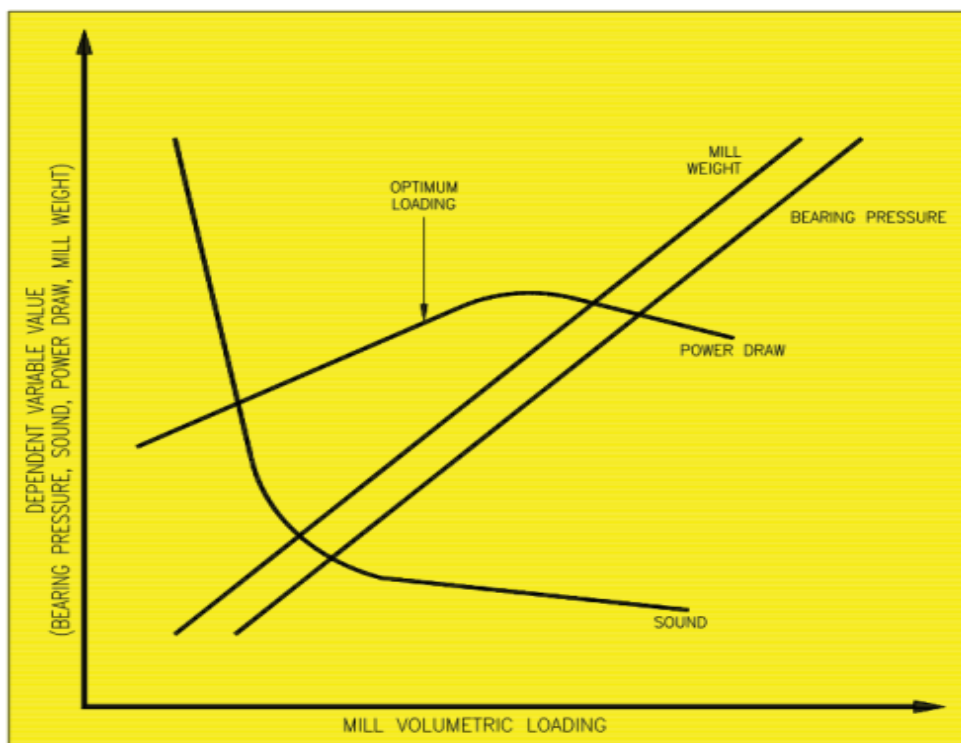
- Nivel de ruido del molino de bolas outotec.

Además de ello deberá monitorear la presión hidrostática de los cojinetes de los muñones, la extracción de potencia del molino y el sonido del molino de bolas outotec. Estas variables dependen de la carga del molino de bolas outotec, y las lecturas informaran al operador si el molino tiene una carga excesiva o deficiente.

### 5.8.2. Curvas de control del molino de bolas outotec de 24'x36'

Es una interpretación gráfica de las tres variables como una función de la carga del molino. Para operar el molino correctamente, el operador deberá adquirir un entendimiento de la relación entre los diversos indicadores de carga del molino de bolas outotec. La gráfica representa tendencias generales, las cuales varían según cambien la velocidad del molino y otras variables de proceso.

**Figura N°56:** *Curvas de control del molino de bolas outotec de 24'x36'.*



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

Aquí se presentan la presión de los cojinetes, la carga del molino, la potencia del molino y las lecturas de sonido como una manera de determinar el rendimiento del molino de bolas outotec. Además, puede obtenerse una medida de rendimiento del molino prestando atención a los sonidos provenientes del mismo.

Cada línea de la curva se describe de la manera siguiente:

#### **5.8.2.1. Presión de los cojinetes y peso del molino de bolas**

Las mediciones de la presión hidrostática se toman desde los transmisores de presión conectados a la entrada de la tubería del lubricante a las cuatro almohadillas de los cojinetes. Esta presión por lo general es lineal, y aumenta en proporción a la carga del molino de bolas outotec de 24'x36'.

#### **5.8.2.2. Extracción de potencia**

La extracción de potencia del molino de bolas es una medida de la cantidad de potencia requerida para hacer girar el molino. La extracción de potencia aumenta desde una baja carga volumétrica del molino hasta que la carga volumétrica del molino se acerca a la línea central del molino. La potencia permanece constante alrededor del centro y luego disminuye dramáticamente a medida que aumenta la carga volumétrica del molino por arriba del nivel medio. La carga óptima ocurre antes de que la extracción de potencia comienza a nivelarse.

#### **5.8.2.3. Sonido**

El sonido del molino se monitorea por medio de los oídos eléctricos ubicados alrededor del casco del molino. Hay ocho oídos eléctricos dispuestos en dos conjuntos de cuatro. Un conjunto está dedicado a la

operación del molino en dirección hacia la derecha, mientras que el otro está dedicado a la operación del molino en dirección hacia la izquierda. El sonido del molino es alto cuando el molino está vacío porque las bolas y el material extraído chocan directamente con los revestimientos del casco del molino. El sonido disminuye a medida que aumenta la carga volumétrica del molino, y la carga que cae como catarata choca sobre un colchón de material extraído y bolas. Un nivel de sonido muy bajo indica que el molino está sobrecargado.

#### **5.8.2.4. Dureza del material extraído**

A medida que cambia la dureza del material extraído, cambia también la velocidad a la cual se reducen las partículas de material extraído, para la descarga a través de las rejillas y la pantalla del tamizador.

A medida que aumenta la dureza del material extraído, la carga del molino aumenta a menos que la tasa de alimentación al molino disminuya. Monitoree la presión hidrostática de los cojinetes de los muñones del molino, la extracción de potencia del molino y el sonido del molino para optimizar la tasa de alimentación (tal como se explicó anteriormente).

#### **5.8.2.5. Densidad del material extraído**

A medida que cambia la densidad del material, cambia también la velocidad a la cual se reducen las partículas de material extraído. El resultado es un aumento del peso del material extraído en el molino de bolas a la misma carga volumétrica, cuando se lo compara con el material extraído de menor densidad. A medida que aumenta la densidad del material extraído, la carga del molino aumenta a menos que la tasa de alimentación al molino de bolas disminuya.

#### **5.8.2.6. Caudal de agua de alimentación al molino de bolas**

El caudal de agua de alimentación al molino de bolas normalmente se establece en proporción a la tasa de alimentación de material extraído al molino. De este modo, puede mantenerse la densidad deseada de fangos en el molino de bolas. A veces, puede resultar necesario aumentar o disminuir la densidad de fangos del molino de bolas outotec. Aumentar la densidad de fangos del molino tiende a retener la carga de material extraído en el molino. Disminuir la densidad de fangos del molino tiende a causar la descarga de las partículas finas de material extraído desde el molino de bolas a una velocidad más rápida. A veces, puede resultar necesario aumentar la densidad de fangos del molino, cuando resulta deseable disminuir la velocidad del proceso de trituración. Esto puede ocurrir cuando hay restricciones en el circuito corriente abajo o en el siguiente proceso de flotación que exigen un rendimiento reducido. La densidad de los fangos también se puede aumentar cuando el material extraído se hace más blando y el operador está tratando de proteger los choques directos de las bolas contra el revestimiento o de las bolas entre sí. A veces, puede resultar necesario disminuir la densidad de fangos del molino de bolas. Esto puede ocurrir cuando el molino de bolas está sobrecargado o el operador está tratando de disminuir la carga para una obtener una velocidad más rápida.

#### **5.8.2.7. Nivel de carga de bolas**

El nivel de carga de bolas en el molino se mantiene basándose principalmente en los porcentajes anteriores de consumo de bolas. Si el material extraído se torna más duro y/o más abrasivo, aumentará el

porcentaje de desgaste de las bolas de acero. Si el material extraído se torna más blando, disminuirá el porcentaje de desgaste de las bolas de acero. El operador periódicamente carga bolas de acero en el molino para mantener el nivel deseado de carga. Cuando se elimina la carga del molino y el equipo se apaga correctamente para mantenimiento y/o inspección, el nivel de carga de bolas puede medirse directamente observando la cantidad de bolas de diferentes tamaños desde un intervalo de 1 pulgada a 5 pulgadas. Las bolas de acero más pequeñas quedan retenidas en la tapa de descarga. Si el nivel de carga es alto, y se suministra material extraído blando, el operador deberá proteger los revestimientos internos del molino de bolas en caso de que haya una carga insuficiente en el molino. Esto puede hacerse aumentando la densidad de fangos del molino, aumentando la tasa de alimentación del molino y/o disminuyendo la velocidad del molino. Como última opción, el operador puede apagar el molino y eliminar las bolas del mismo y nunca permitir que el molino de bolas funcione en una condición de carga deficiente. Sin el amortiguamiento de los fangos del material extraído, las bolas de trituración chocan directamente contra los revestimientos y pueden ocasionar daños graves.

#### **5.8.2.8. Nivel de ruido del molino de bolas outotec de 24'x36'**

Se ha encontrado que el parámetro de sonido es el mejor indicador de carga mientras que la velocidad del molino permanece sin cambios. Un sonido del molino que sea demasiado fuerte (molino con carga deficiente) puede indicar un contacto de acero con acero (las bolas chocan con los revestimientos y/o con otras bolas) con el consiguiente daño al

revestimiento liners y a las rejillas; un sonido demasiado bajo indica que un molino está casi sobrecargado debido a una mayor alimentación de material extraído hacia su interior que lo que se descarga desde el molino de bolas.

La observación real en el área de sulfuros en el caso del molino de bolas outotec 24'x36' en funcionamiento ha demostrado que los niveles de sonido cambian varios minutos antes de que haya cambios detectables en la presión de los cojinetes del molino, en la potencia del motor o en el peso del molino.

Se utiliza el sonido porque es el indicador más sensible de la carga del molino. Si el sonido es fuerte (es decir, se está descargando el molino de bolas) entonces se aumenta el tonelaje hasta un máximo definido por el operador, siempre y cuando no esté sobrecargados los circuitos corrientes abajo. Si el sonido aún es fuerte, se reduce la velocidad del molino. Si el sonido es bajo (es decir, el molino está sobrecargado), el molino de bolas se acelera hasta una velocidad óptima definida por el operador.

#### **5.8.2.9. Cambio de la dirección de rotación**

El operador tiene la opción de cambiar la dirección de rotación del molino de bolas outotec de 24'x36'. Esta opción puede utilizarse para mantener un desgaste uniforme a ambos lados de los revestimientos. La dirección de rotación puede cambiarse desde el panel local. La dirección de rotación se define como la dirección vista al mirar el lado extremo de la carga del molino de bolas.

A fin de cambiar la dirección de rotación, el molino deberá detenerse en la posición de reposo.

## **5.9. Desgaste de revestimientos (chaquetas) y su impacto en la operación del molino de bolas outotec de 24'x36'**

### **5.9.1. Movimiento de la carga en catarata.**

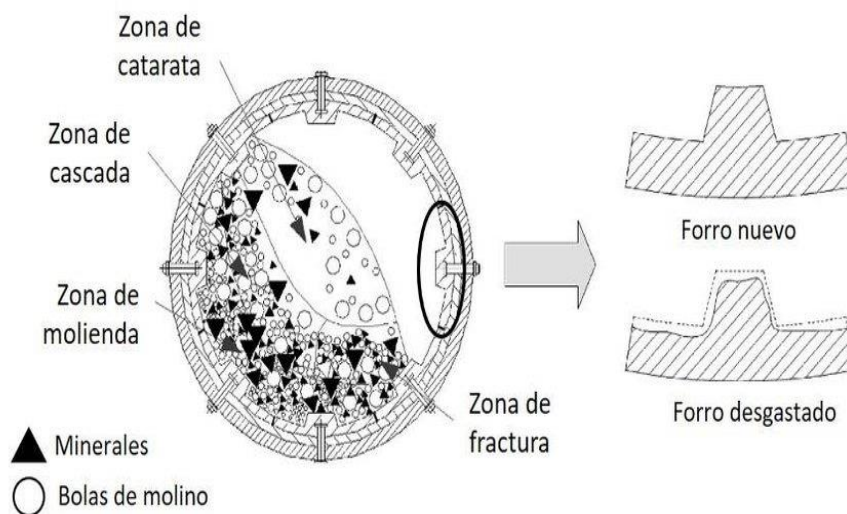
- En el movimiento en catarata se da a velocidades relativamente altas en el cual las bolas son proyectadas de una cierta altura por efecto de la forma de los liners.
- Describe una serie de parábolas antes de impactar en el pie de la molienda.
- Este efecto catarata produce una reducción de tamaño del mineral por impacto y un producto final más grueso con menor desgaste del liners (levantadores internos).

### **5.9.2. Movimiento de la carga en cascada**

- El movimiento en cascada se da a velocidades relativamente bajas o con revestimientos lisos de poca altura de liners.
- Las bolas tienden a rodar hacia abajo hasta el pie de molienda y la reducción de tamaño del mineral ocurre por abrasión.
- Este efecto de cascada conduce a una molienda más fina, y mayor desgaste de los liners.

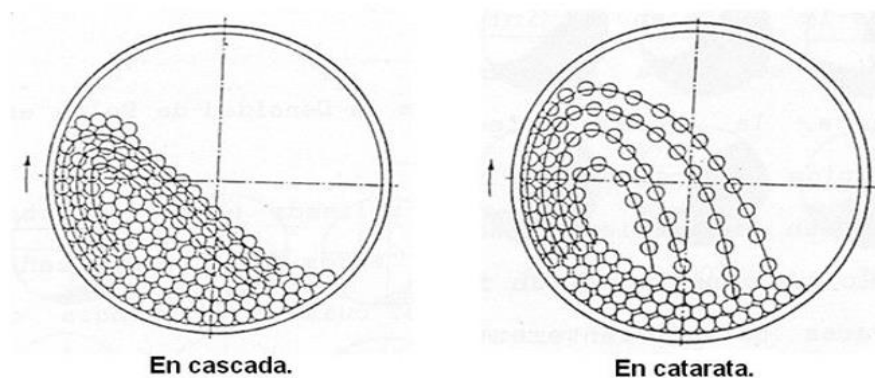


**Figura N°57:** Tipos de movimiento de carga del molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** Cortesía de Nordberg.

**Figura N°58:** Movimiento de carga de mineral en el interior del casco del molino de bolas outotec 24'x36'. (cascada – catarata).



**Fuente:** Cortesía de Nordberg.

Los revestimientos del molino de bolas outotec de 24'x36', además de su función principal de proteger el casco del molino, tienen la tarea de transferir la energía a la carga interna y de generar la dinámica de movimiento de esta carga.

Durante el ciclo de vida del revestimiento, su geometría cambia drásticamente debido al desgaste por abrasión e impactos, por lo que se analizó los tipos más comunes de geometría de los lifter o levantador del mineral que operan el molino de bolas outotec de 24'x36'.

**Figura N°59:** *Revestimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **5.10. Formas geométricas del lifter más usuales del molino de bolas outotec 24'x36'**

$L$  = Longitud de la base del lifter o levantador.

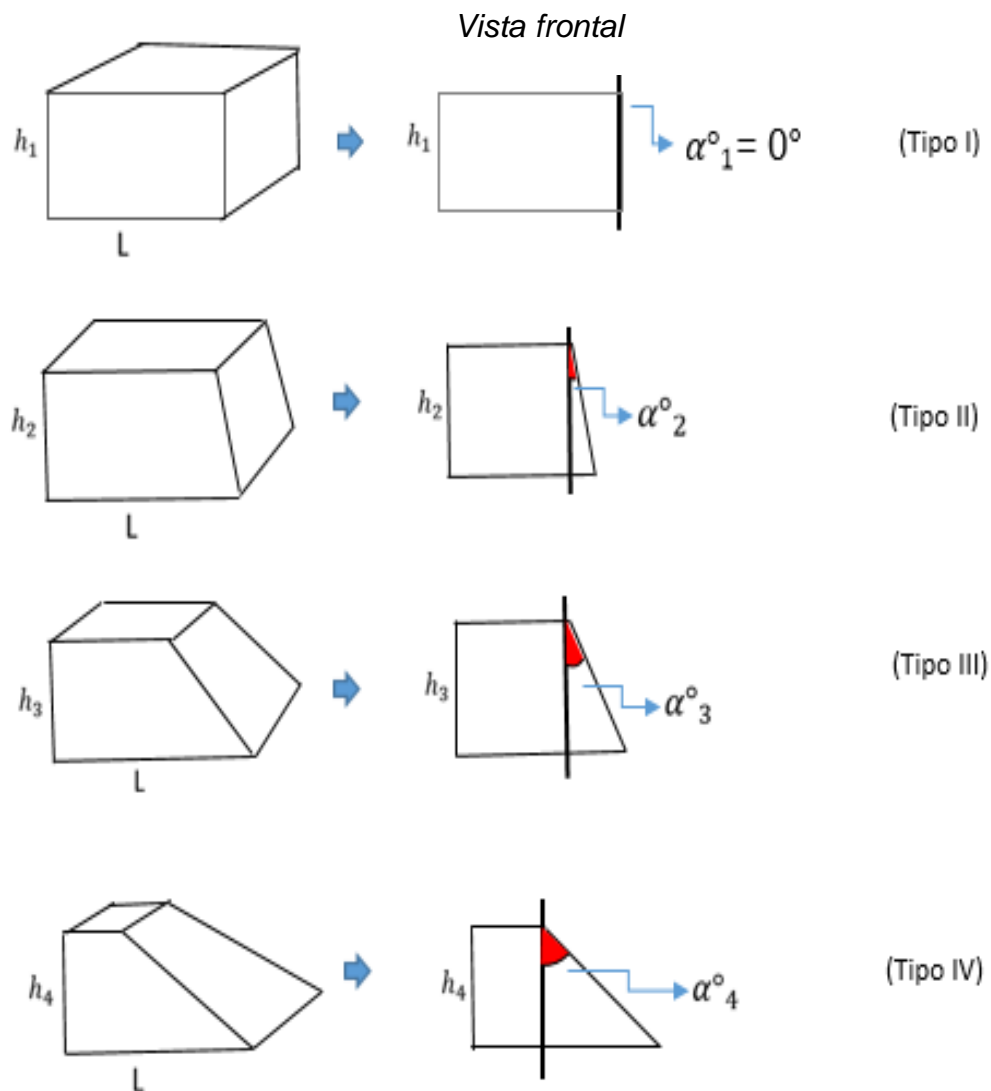
$h_i$  = Altura del lifter o levantador.

$\alpha^{\circ}_i$  = Ángulo agudo de ataque del lifter o levantador.

Donde :

$$h_1 > h_2 > h_3 > h_4 \quad \text{y} \quad \alpha^{\circ}_4 > \alpha^{\circ}_3 > \alpha^{\circ}_2 > \alpha^{\circ}_1$$

Tipos de levantadores o lifter:



**Fuente:** *Elaboración propia.*

La figura muestra cuatro tipos de lifter (levantadores), más comunes usados y cambiados en el interior del casco, geoméricamente con diferentes alturas y diferentes ángulos de ataque, el ángulo lifter o ataque usualmente se encuentra entre  $22$  a  $35^\circ$  y entre  $130$  a  $250\text{mm}$  de altura los levantadores. Cada modelo cumple un desempeño diferente en la eficiencia del molino de bolas outotec  $24 \times 36'$  ya sea en el consumo de energía específica, la granulometría de los granos de mineral que se desea, formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos. Bajo

estas condiciones los levantadores propuestos (I, II, III y IV), el consumo de energía más elevado lo tiene el levantador IV el cual tiene un ángulo de ataque de  $\alpha^{\circ}_4$  y tiene una  $h_4$  cm de altura. Mientras el levantador I tiene un ángulo de ataque de  $\alpha^{\circ}_1$  con una altura de  $h_1$  cm se concluye que existe una correlación inversamente proporcional entre la altura del levantador y el consumo de energía, ya que a medida que la altura decrece el consumo de energía claramente se incrementa. Al considerar los cambios de los liners (revestimientos), en cada parada de planta sometidas a molienda de mineral constante los levantadores I, II, III y IV la tendencia de estas denota que, ante el incremento del ángulo, el consumo de energía aumenta.

Bajo este mismo concepto de referencia la cinética de molienda más rápida es aquella que tiene el levantador IV y el levantador I tiene una cinética lenta, con esto, se puede deducir que el levantador IV es el más propicio para acelerar la molienda en el molino de bolas outotec 24'x36'.

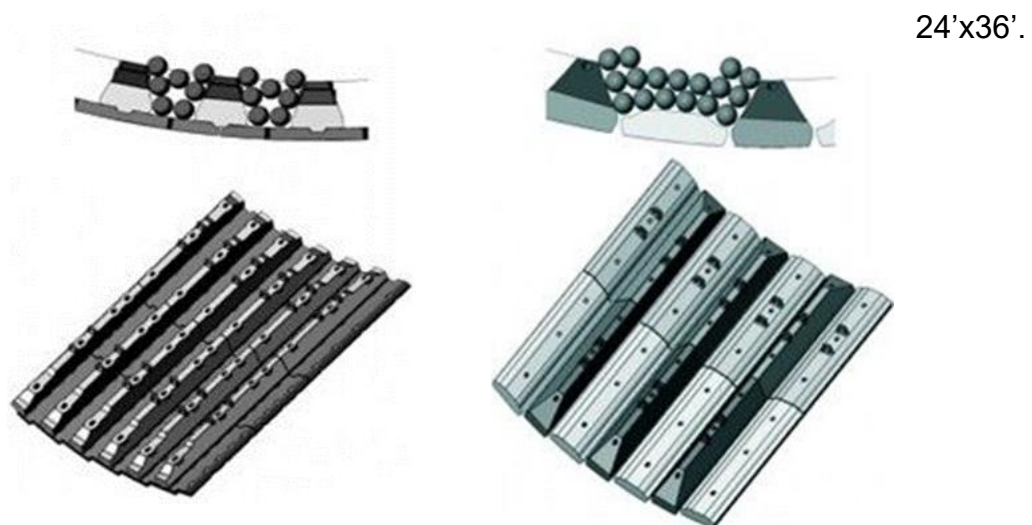
la relación entre el consumo de energía y la cantidad de finos generados del mineral a un proceso de molienda sin el uso de los levantadores generará una cantidad de finos prácticamente despreciable. Esto se debe a que sin levantadores disponibles la energía mecánica no puede ser suministrada de una manera óptima a la carga. Se puede concluir a partir de los datos obtenidos en los cambios de liners, que el uso de levantador maximiza los efectos de la molienda, generando las corrientes de catarata y cascada que permite crear un perfil de carga donde los mecanismos de molienda logren la reducción de tamaño.

Relación entre porcentaje de finos producidos y consumo de energía específica (kWh/ton). A partir de la geometría de los levantadores se concluye

que el ángulo de ataque del levantador tiene efecto sobre el cómo se desarrolla el perfil de carga. Para el tipo de levantadores I y II, la variación del ángulo entre  $\alpha^{\circ}_1$  y  $\alpha^{\circ}_2$  comparando estos dos levantadores, se concluye que el levantador I con menor cantidad de energía (kWh/ton) y el levantador II con una mayor cantidad de energía (kWh/ton), produce una mayor cantidad de finos que el levantador I. El levantador IV denota la mejor eficiencia de molienda de todas aquellas donde se usaron levantadores de diferente geometría y ángulo de ataque, debido a que el consumo de energía específica (kWh/ton), es mayor y produce la mayor cantidad de mineral finos.

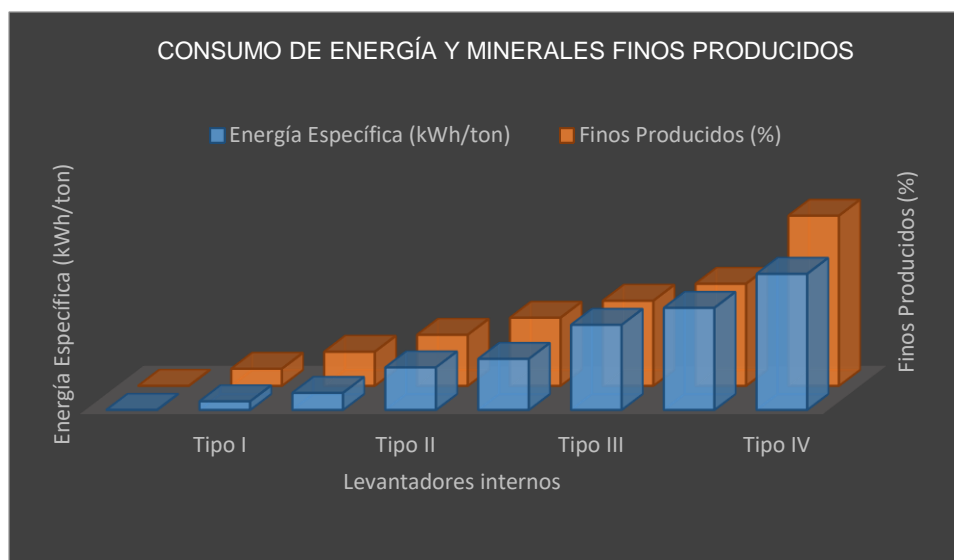
A partir de este análisis se observa que tanto la altura como el ángulo son factores por considerar en el diseño de los levantadores, ya que ambos tienen una influencia en la distribución de las corrientes de catarata y cascada que dan como resultado una molienda efectiva. A partir de esto se puede denotar que a medida que se incrementa el ángulo de ataque del levantador la generación de finos se incrementa.

**Figura N°60:** Geometría de levantadores del molino de bolas outotec



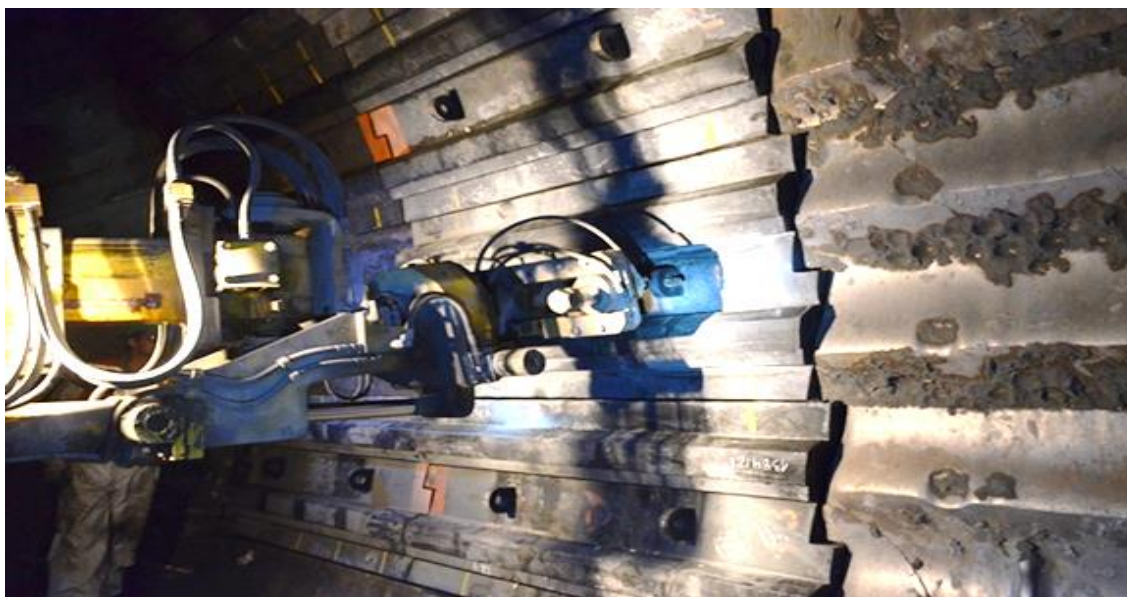
**Fuente:** <https://www.metso.com/portfolio/digital-girth-gear-inspections/>

**Tabla N°46:** Cuadro comparativo entre levantadores – finos producidos – energía específica. Molino de bolas outotec 24'x36'.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura N°61:** Geometría de levantadores del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura N°62:** *Maquina enlainadora marca brokk 160, usado en el recubrimiento de liners.*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

Además, el proceso de molienda se caracteriza por tener un mayor consumo energético por tonelada de mineral. El alto consumo energético asociado al proceso de moler el mineral se puede atribuir a su reducida eficiencia energética, puesto que el 85% de la energía empleada en la conminución se disipa como calor, el 12% se atribuye a pérdidas mecánicas y sólo un 1% de la energía entregada se utiliza para reducir el tamaño del mineral.

#### **5.11. Reemplazo de componentes de revestimiento del molino de bolas outotec de 24'x36'**

El propósito de este procedimiento es describir el reemplazo de los componentes de revestimiento interno del cilindro del molino de bolas, donde se encuentran

los levantadores dañados o desgastados del molino. Los componentes de desgaste incluyen los siguientes:

- Revestimientos/levantadores de los cabezales.
- Revestimientos/levantadores del casco.
- Rejillas de descarga.
- Descargadores de pulpa.
- Revestimientos de la bandeja.

Este procedimiento por lo general se basa en la experiencia personal y del personal involucrado y en las herramientas y equipos disponibles. Este procedimiento se dispone de un manipulador de revestimientos de capacidad y tamaño suficientes para levantar y sujetar un nuevo componente de desgaste en posición.

1. Elimine la carga del molino hasta que la descarga tenga una densidad lo suficientemente baja como para evitar la cementación de la carga restante en los levantadores del molino de bolas outotec de 24'x36'.
2. Bloquee y rotule el suministro eléctrico del molino de bolas de acuerdo con el procedimiento establecido.
3. Asegúrese de que se hayan fijado los frenos del molino.
4. Desmonte o estacione el conjunto de canaleta de carga y el carro de rodadura fuera del camino del extremo de carga del molino.
5. Coloque el manipulador de revestimientos en posición en el extremo de carga del molino y realice una inspección previa a la operación. Asegúrese de que esté sujetado firmemente en posición.
6. Arranque el manipulador de revestimientos.



7. Monte dispositivos de acceso (andamios o un ascensor) a los sujetadores de los componentes de desgaste en la parte exterior del molino de bolas tanto a la entrada como a la salida.

8. En una posición en el eje longitudinal del molino, o por arriba del mismo anclados con arnés, desmonte las tuercas de los pernos que conectan el componente de desgaste, desde la superficie externa del molino con una pistola neumática y los dados adecuados.

9. Expulse los pernos a través del componente que se desea desmontar utilizando una comba adecuada hacia el interior del compartimiento de trituración, desde el exterior del casco.

Deje que el componente y los pernos caigan al interior de la cámara de trituración del molino. Los mismos se recuperarán o cambiarán previa evaluación, de todos los componentes desgastados.

10. Si el componente no cae al interior de la cámara de trituración al expulsarse los pernos, deberá ser desmontado utilizando el manipulador de revestimientos.

11. Cuando se desmontan los revestimientos del casco levantadores internos (liners y lifter), inspeccione el revestimiento de caucho del casco en busca de un desgaste excesivo y daños. Repare o cambie las porciones dañadas del revestimiento utilizando el procedimiento descrito.

12. Instale los componentes de reemplazo en el mismo orden en que fueron desmontados con el manipulador de revestimientos. Utilice sujetadores nuevos (pernos, arandelas y tuercas si fuese necesario).

Los revestimientos deberán instalarse con espacios uniformes entre las placas del revestimiento. Un espaciado incorrecto puede ocasionar desgaste a los sellos y componentes estructurales.

13. Limpie las roscas de los nuevos pernos y tuercas, y aplique ligeramente aceite o grasa a las roscas y a las arandelas para un mejor ajuste.

14. Apriete todas las tuercas hasta aproximadamente la mitad del apriete especificado.

15. Apriete todas las tuercas de acuerdo con la especificación de apriete exacto.

16. Retire los componentes desgastados como liners y lifter que cayeron al interior del compartimiento de trituración utilizando el manipulador de revestimientos.

17. Gire el molino hacia las dos hileras siguientes de componentes desgastados que se deben desmontar. Posicione estas hileras en el eje longitudinal del molino de bolas, o por arriba del mismo. El número de hileras que pueden desmontarse en una posición del molino por lo general depende de la capacidad del manipulador de revestimientos de instalar los nuevos componentes sin repositonar el molino de bolas outotec de 24'x36'.

Asegúrese de que no se permita el contacto de la pulpa con el material de respaldo de caucho mientras se estén reemplazando los revestimientos del casco ya que dificultara su posicionamiento.

18. Revise los lados inferiores del casco y los cabezales para asegurarse de que ninguno de los sujetadores nuevos tenga fugas.

19. Desmunte y quite todos los dispositivos de acceso del exterior del molino de bolas outotec de 24'x36'.

20. Apague y retire el manipulador de revestimientos del molino de bolas outotec de 24'x36'.

21. Verifique la condición de los revestimientos del muñón del extremo de carga. Repare o reemplace según sea requerido.

22. Si no es necesario hacer trabajo adicional en el interior del molino de bolas outotec de 24'x36', reemplace y coloque la canaleta de carga y el carro de rodadura.

23. Verifique la condición y el contacto del sello de la canaleta de carga, y ajuste, repare o reemplace el sello según sea requerido.

24. Verifique la condición de los revestimientos del muñón de descarga.

25. Reemplace los revestimientos desgastados o dañados retirando lo que resta del cuerpo del molino de bolas outotec de 24'x36', y desmonte las barras y tuercas que sujetan el revestimiento al muñón.

26. Limpie, elimine las rebabas y lubrique los pasadores de conexión del revestimiento.

27. Instale los nuevos segmentos del revestimiento con nuevas tuercas y arandelas. Apriete todas las tuercas de acuerdo con la especificación de apriete exacto.

28. Instale y selle los nuevos tapones en los orificios para los pasadores de los revestimientos que fueron reemplazados.

29. Cuando se haya completado todo el resto del trabajo en el molino de bolas outotec de 24'x36', quite el candado de bloqueo y el rótulo de acuerdo con los procedimientos establecidos.

## **5.12. Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec de 24'x36'**

**Tabla N°47: Plan de mantenimiento preventivo para el molino de bolas outotec 24'x36'.**

Equipo Paralizado	Mantenimiento preventivo		Frecuencia					Cantidad de personas					Horas programadas				
	Equipo:	Molino de bolas outotec de 24'x36'	Parada de planta														
	Área:	Molienda secundaria	cada mes	cada 3 meses	cada 5 meses	cada 8 meses	cada 10 meses										
	Tipo de Mantenimiento:	Preventivo mecánico (PM)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
1	<b>SEGURIDAD</b>		X	X	X	X	X	4	4	4	4	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Utilizar los EPPs adecuados		X	X	X	X	X										
	Llenado correcto del IPERC y revisión de los PETS		X	X	X	X	X										
	Utilizar las herramientas adecuadas y necesarias ATS		X	X	X	X	X										
	Desconecte y bloquee toda fuente de energía (colocar Lock Out-Tag Out)		X	X	X	X	X										
2	<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>		X	X	X	X	X	4	4	4	4	4	5	7	12	24	36
	<b>MOTOR ELECTRICO SINCRONO PRINCIPAL</b>		X		X		X										
	Realizar limpieza general del motor			X	X	X	X										
	Realizar limpieza de escobillas de carbón y anillos deslizantes			X	X	X	X										
	Inspección estado de escobillas de carbón, cambiar según condición		X				X										
	Inspección estado de anillos deslizantes, cambiar según condición		X				X										
	Verificar ajuste de pernos de anclaje y sujeción			X	X	X	X										
	Inspección estado del ventilador de motor (grietas, rajaduras)			X	X	X	X										
	Reajustar terminales, conectores y/o borneras (línea a tierra)		X				X										
	Análisis de vibraciones para rodamientos del motor		X				X										
	Inspección estado de fusibles de celdas de arranque del tablero, cambiar según condición			X	X	X	X										
	Limpiar y verificar indicador de corriente de celdas de arranque del tablero		X				X										
	Reajustar conexiones de componentes de resistencia rotórica tablero		X	X	X	X	X										
	<b>MOTOR DE BOMBAS DE TORNILLO Y ENGRANAJES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN</b>			X	X	X	X										
	Realizar limpieza general del motor			X	X	X	X										
	Verificar ajuste de pernos de sujeción			X			X										
	Inspección estado de motor, cambio según condición			X	X	X	X										
	Inspección estado del ventilador de motor (grietas, rajaduras)		X				X										
	Reajustar terminales, conectores y/o borneras (línea a tierra)		X				X										
	Análisis de vibraciones para rodamientos del motor			X	X	X	X										

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°48: Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Equipo Paralizado	Mantenimiento preventivo		Frecuencia					Cantidad de personas					Horas programadas					
	Equipo:	Molino de bolas outotec de 24'x36'	Parada de planta					PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	
	Área:	Molienda secundaria	cada mes	cada 3 meses	cada 5 meses	cada 8 meses	cada 10 meses											
	Tipo de Mantenimiento:	Preventivo mecánico (PM)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5											
3	SISTEMA CARGA Y DESCARGA			x				x	6	6	6	7	7	8	12	12	24	36
	Verificar estado y ajuste de pernos en general		x					x										
	Inspección de spout feeder		x					x										
	Cambiar spout feeder			x				x										
	Cambiar sellos del spout feeder			x				x										
	Inspección soporte y pernos de anclaje del spout feeder, reparar o cambiar según condición		x	x				x										
	Cambio de liners de spout feeder según condición			x				x										
	Cambiar trommel							x										
	Cambiar mallas, paneles y pernos de sujeción			x				x										
	Verificar fugas de carga por liner del trunnion de descarga		x					x										
	Inspección estado y limpieza del trommel		x					x										
4	SISTEMA DE SOPORTE			x				x	5	6	7	7	7	8	10	12	24	36
	Verificar fugas de carga y descarga por liner del trunnion de carga y descarga		x	x				x										
	Inspección estado y ajuste de pernos de anclaje del trunnion de carga y descarga			x				x										
	Cambiar o-ring del liner de trunnion de carga y descarga							x										
	Inspección liner del trunnion de carga y descarga		x					x										
	Cambiar liner de trunnion de carga y descarga		x					x										
	Inspección trunnion (muñón) de carga y descarga, cambiar según condición							x										
	Inspección base y tapa de chumacera principal lado carga y descarga, cambiar según condición			x				x										
	Inspección placa soporte (suport plate) de chumacera principal lado carga y descarga, cambiar según condición			x				x										
	Inspección casquillo de bronce de chumacera principal lado carga y descarga, cambiar según condición			x				x										
	Inspección soporte del casquillo de bronce de chumacera principal lado carga y descarga, cambiar según condición			x				x										
	Cambiar retenes de aceite de chumacera principal lado carga y descarga		x					x										
	Inspección sello laberinto de chumacera principal lado carga y descarga, cambiar según condición		x					x										
	Cambiar aceite del sistema de lubricación del trunnion		x					x										
	Cambiar silica gel del deshumecedor del tanque de lubricación del trunnion			x				x										
	Cambiar filtro de aceite de bombas de lubricación de alta de acuerdo a condición		x					x										
	Cambiar filtros de aceite de bombas de recirculación del trunnion		x					x										

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla N°49: Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Equipo Paralizado	Mantenimiento preventivo		Frecuencia					Cantidad de personas					Horas programadas					
	Equipo:	Molino de bolas outotec de 24'x36'	Parada de planta					PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	
	Área:	Molienda secundaria	cada mes	cada 3 meses	cada 5 meses	cada 8 meses	cada 10 meses											
	Tipo de Mantenimiento:	Preventivo mecánico (PM)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	
5	SISTEMA DE REVESTIMIENTOS			x		x			7	8	8	8	8	10	24	24	36	48
	TAPA DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA			x			x											
	Inspección liners de tapa de alimentación (head plate - lifter bar)			x			x	x										
	Cambiar liners de tapa de alimentación (head plate - lifter bar)			x			x	x										
	Inspección liners de tapa de descarga (head plate - lifter bar)			x			x	x										
	Cambiar liners de tapa de descarga (head plate - lifter bar)			x			x	x										
	Inspección agujeros de pernos de sujeción de los liners de la tapa de alimentación y descarga		x			x		x										
	Inspección planchas de caucho (packing rubber) de la tapa de alimentación y descarga, cambiar según condición		x			x		x										
	CILINDRO			x		x		x										
	Inspección liners del cilindro (shell plate - lifter bar)		x	x				x										
	Cambiar liners del cilindro (shell plate - lifter bar)		x			x		x										
	Inspección agujeros de pernos de sujeción de los liners del cilindro		x			x		x										
	Inspección planchas de caucho (packing rubber) del cilindro, cambiar según condición		x			x		x										
6	SISTEMA DE TRANSMISIÓN			x				x	3	4	4	4	4	10	12	12	24	24
	CONTRAEJE-PIÑÓN-CATALINA			x		x		x										
	Verificar y evaluar desgaste de rodamientos de chumaceras del contraeje		x			x		x										
	Evaluar desgaste del piñón-catalina (alineamiento, backlash y paralelismo)		x			x		x										
	Inspección estado y ajuste de pernos de amarre de catalina		x			x		x										
	REDUCTOR PRINCIPAL (GEARBOX)			x				x										
	Inspección acoplamiento de alta del reductor principal (estado, alineamiento y GAP)			x				x										
	Inspección acoplamiento de baja del reductor principal (estado, alineamiento y GAP)			x		x		x										
	Verificar estado y ajuste de pernos de sujeción del reductor principal		x					x										
	Cambiar aceite del sistema de lubricación reductor principal-contraeje			x		x		x										
	Cambiar filtro de aceite de bombas de lubricación reductor principal-contraeje		x					x										
	Reengrasar juntas de laberinto del reductor principal			x				x										
	Cambiar grasa del acoplamiento de baja del reductor principal			x				x										
	SISTEMA AUXILIAR - INCHING DRIVE			x		x		x										
	Inspección acoplamiento de alta del reductor del Inching Drive (estado, alineamiento y GAP)			x				x										
	Inspección acoplamiento de baja del reductor del Inching Drive (estado, alineamiento y GAP)			x				x										
	Verificar estado y ajuste de pernos de sujeción del reductor del Inching Drive							x										
	Inspección y controlar fugas de aceite por el reductor del Inching Drive			x				x										
	Verificar ruidos y vibraciones anormales en funcionamiento del Inching Drive			x				x										
	Cambiar grasa del acoplamiento de baja del reductor del Inching Drive			x		x		x										
	Cambiar aceite del reductor del Inching Drive			x		x		x										

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla N°50: Plan de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec 24'x36'.**

Equipo Paralizado	Mantenimiento preventivo		Frecuencia					Cantidad de personas				
	Equipo:	Molino de bolas outotec de 24'x36'	Parada de planta					PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
	Área:	Molienda secundaria	cada mes	cada 3 meses	cada 5 meses	cada 8 meses	cada 10 meses					
	Tipo de Mantenimiento:	Preventivo mecánico (PM)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
7	SISTEMA DE LUBRICACIÓN		x	x	x	x	x	4	5	5	4	4
	LUBRICACIÓN DEL TRUNNION		x	x	x	x	x					
	Realizar limpieza externa del sistema de lubricación		x	x	x	x	x					
	Inspección de válvulas (check, reguladoras, relief, etc.)		x		x		x					
	Inspección estado de paletas y guardas del ventilador del radiador		x				x					
	Realizar limpieza del radiador con aire comprimido		x	x			x					
	Inspección componentes del acople motor eléctrico-bomba de alta , cambiar según condición		x	x			x					
	Inspección componentes del acople motor eléctrico-bomba de recirculación , cambiar según condición		x	x			x					
	Cambiar mangueras hidráulicas del sistema de lubricación			x	x		x					
	LUBRICACIÓN DEL REDUCTOR PRINCIPAL-CONTRAEJE		x	x	x	x	x					
	Realizar limpieza externa del sistema de lubricación		x	x	x	x	x					
	Inspección de válvulas (check, reguladoras, relief, etc.)		x	x			x					
	Inspección estado de paletas y guardas del ventilador del radiador		x				x					
	Realizar limpieza del radiador con aire comprimido		x	x	x	x	x					
	Inspección componentes del acople motor eléctrico-bomba de baja , cambiar según condición		x	x	x		x					
	Cambiar mangueras hidráulicas del sistema de lubricación		x		x		x					
	LUBRICACIÓN DEL MOTOR ELECTRICO PRINCIPAL		x	x	x	x	x					
	Realizar limpieza externa del sistema de lubricación		x	x	x	x	x					
	Inspección de válvulas (check, reguladoras, relief, etc.)		x				x					
	Revisar estado de paletas y guardas del ventilador del radiador		x	x			x					
	Realizar limpieza del radiador con aire comprimido		x				x					
	Inspección componentes del acople motor eléctrico-bomba de alta, cambiar según condición		x			x						
	Inspección componentes del acople motor eléctrico-bomba de baja, cambiar según condición		x				x					
	Cambiar mangueras hidráulicas del sistema de lubricación		x		x		x					
	LUBRICACIÓN DEL PIÑÓN-CATALINA		x	x	x	x	x					
	Realizar limpieza externa del sistema de lubricación automática		x		x		x					
	Realizar limpieza de aspersores (lanza sprays)		x		x		x					
	Inspección bomba neumática, cambiar según condición		x		x		x					
	LUBRICACIÓN DE SELLOS BEARING HOUSING		x	x	x	x	x					
	Realizar limpieza externa del sistema de lubricación automática		x		x		x					
	Realizar limpieza de aspersores (lanza sprays)		x		x		x					
	Inspección bomba neumática, cambiar según condición		x		x		x					

Fuente: *Elaboración propia.*

### **5.13. Hojas de verificación de mantenimiento preventivo del molino de bolas outotec de 24'x36'**

El propósito de las hojas de verificación de mantenimiento preventivo (MP) provistas en esta sección es el de establecer un procedimiento rutinario de mantenimiento mecánico para el molino de bolas outotec de 24'x36', y proporcionar un medio para las observaciones y actividades relacionadas con el mantenimiento. Estas hojas de verificación de mantenimiento preventivo por lo general son utilizadas por el personal de mantenimiento y por los planificadores de mantenimiento. También resultan útiles para los operadores del molino como guía para hacer observaciones mientras el molino está en funcionamiento, y para ayudar en hacer solicitudes específicas para mantenimiento. Las hojas de verificación contienen tareas e intervalos para equipos que requieren inspecciones de instrumentos y mantenimiento rutinario más allá de lo que pueden hacer los operadores del molino de bolas outotec de 24'x36'.

Un programa de MP siempre debe ser al menos activo, aunque lo ideal es que sea proactivo. Esto asegura que el programa de MP resulte tan eficiente y eficaz como sea posible.



**Cuadro N°3:** *Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.*

Área:	Mecánica - Apagado	
Equipo:	Cojinete principal de múltiples almohadillas hidrostáticas, no de empuje, extremo de descarga.	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Conjunto de los cojinetes principales, no de empuje	1	<b>Tareas diarias de MP</b>
		Complete las tareas diarias de MP especificadas en la hoja de verificación de MP.
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Pulpa de mineral - slurries</b>
		Verifique la condición del cojinete.
		Disponga la reparación o limpie la zona afectada por el concentrado de pulpa.
	3	<b>Sujetadores de retención</b>
		Verifique el apriete de los sujetadores de retención del cojinete principal y de la placa base.
		Apriete las tuercas flojas según sea requerido.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°4:** *Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.*

<b>Conjunto de los cojinetes principales, no de empuje</b>	4	<b>Sellos de los cojinetes</b>
		Limpie e inspeccione los sellos de los cojinetes en busca de daños, desgaste excesivo y fugas.
		La holgura entre el sello y el muñón debe estar en el rango de 0,15 a 0,30 mm (0,005 a 0,12 pulgadas). Las señales de fugas de aceite pueden indicar un sello dañado o un ajuste radial incorrecto.
		Repare y/o ajuste según sea requerido.
	5	<b>Mangueras de lubricación</b>
		Limpie e inspeccione las mangueras y accesorios del sistema de lubricación en busca de daños y fugas.
		Reemplace las mangueras y accesorios defectuosos después de apagar y bloquear el sistema de lubricación.
		Estos componentes son críticos para la operación correcta y continua del molino.
	6	<b>Superficie del muñón</b>
		Inspeccione el muñón en busca de señales inusuales de desgaste y abrasión.
		Registre las observaciones.
	7	<b>Muestra de aceite</b>
		Tome una muestra de aceite y envíela para su análisis.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°5:** *Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.*

Área:	Mecánica - Apagado	
Equipo:	Cojinete principal de múltiples almohadillas hidrostáticas, de empuje, extremo de carga.	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Conjunto de los cojinetes principales, de empuje	1	<b>Tareas diarias de MP</b>
		Complete las tareas diarias de MP especificadas en la hoja de verificación de MP.
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Pulpa de mineral - slurries</b>
		Verifique la condición del cojinete.
		Disponga la reparación o limpie la zona afectada por el concentrado de pulpa.
	3	<b>Sujetadores de retención</b>
		Verifique el apriete de los sujetadores de retención del cojinete principal y de la placa base.
		Apriete las tuercas flojas según sea requerido.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°6:** *Tareas de mantenimiento mecánico preventivo de cojinetes principales.*

<b>Conjunto de los cojinetes principales, de empuje</b>	4	<b>Sellos de los cojinetes</b>
		Limpie e inspeccione los sellos de los cojinetes en busca de daños, desgaste excesivo y fugas.
		La holgura entre el sello y el muñón debe estar en el rango de 0,15 a 0,30 mm (0,005 a 0,12 pulgadas). Las señales de fugas de aceite pueden indicar un sello dañado o un ajuste radial incorrecto.
		Repare y/o ajuste según sea requerido.
	5	<b>Mangueras de lubricación</b>
		Limpie e inspeccione las mangueras y accesorios del sistema de lubricación en busca de daños y fugas.
		Reemplace las mangueras y accesorios defectuosos después de apagar y bloquear el sistema de lubricación.
		Estos componentes son críticos para la operación correcta y continua del molino.
	6	<b>Superficie del muñón</b>
		Inspeccione el muñón en busca de señales inusuales de desgaste y abrasión.
		Registre las observaciones.
	7	<b>Muestra de aceite</b>
		Tome una muestra de aceite y envíela para su análisis.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°7: Tareas de mantenimiento preventivo de sistema de lubricación.**

Área:	<b>Sistema de lubricación del molino de bolas outotec 24'x36' - Apagado.</b>	
Equipo:	<b>Sistema de lubricación del cojinete principal de múltiples almohadillas hidrostáticas.</b>	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Sistema de lubricación con aceite hidrostático.</b>	1	<b>Tareas diarias de MP</b>
		Complete las tareas diarias de MP especificadas en la hoja de verificación de MP.
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Filtros y cedazos</b>
		Limpie los filtros y cedazos del sistema de baja presión.
	3	<b>Divisores de flujo</b>
		Verifique los indicadores de los divisores de flujo para asegurarse de que los caudales a las almohadillas de los cojinetes sean aproximadamente iguales y se mantengan uniformes.
	4	<b>Cambio de aceite</b>
		Drene el aceite del depósito de aceite lubricante al interior de un recipiente aprobado y deséchelo de acuerdo con los procedimientos establecidos.
	5	<b>Interior del depósito</b>
		Limpie el interior del depósito y la superficie del calentador.
		Inspeccione las superficies interiores en busca de corrosión.
		Limpie y vuelva a cubrir, según sea requerido.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°8:** *Tareas de mantenimiento preventivo de sistema de lubricación.*

<b>Sistema de lubricación con aceite hidrostático.</b>	6	<b>Precarga del acumulador</b>
		Verifique la precarga de N <sub>2</sub> (nitrógeno) en los acumuladores. Cargue según sea requerido para proporcionar la presión de precarga establecida.
	7	<b>Sellos y empaquetaduras</b>
		Inspeccione todos los sellos y empaquetaduras en busca de fugas. Reemplace según sea requerido.
	8	<b>Lado del casco del intercambiador térmico.</b>
		Inspeccione las superficies exteriores de los tubos, el casco y los deflectores en busca de signos de fugas, y depósitos de fangos. Inspeccione la parte inferior del casco en busca de materiales extraños y corrosión. Limpie según sea requerido.
		<b>Limpie y cierre el intercambiador térmico</b>
	9	Limpie el exterior del intercambiador térmico. Cierre todos los paneles de acceso al intercambiador térmico y prepárelo para su operación. Llene el lado de los tubos con agua de enfriamiento para evitar un choque de presión.
		<b>Alineación de la bomba de alta presión.</b>
		Verifique la alineación del motor y la bomba en el caso de las bombas de alta presión. La mala alineación máxima permitida es de 0,051 mm (0,002 pulgadas) TIR (descentramiento total indicado). Registre los resultados y las lecturas.
	11	<b>Acoplamientos de accionamiento</b>
		Inspeccione los acoplamientos de accionamiento.
12	<b>Limpie y cubra las bombas</b>	
	Limpie las bombas y la cubierta del acoplamiento del motor. Asegure con firmeza las cubiertas de acoplamiento.	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°9:** Tareas de mantenimiento preventivo sistema de disco de frenos.

Área:	<b>Sistema de frenos de disco del molino de bolas outotec 24'x36' - Apagado.</b>		
Equipo:	<b>Calibrador y disco del sistema de frenos del molino - Sistema hidráulico de frenos del molino</b>		
Componente	Tarea N°	Tarea de MP	
<b>Sistema hidráulico de frenos</b>	1	<b>Tareas diarias y mensuales de MP</b>	
		Complete las tareas diarias y mensuales de MP especificadas en las hojas de verificación de MP.	
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.	
	2	<b>Cambio de aceite</b>	
		Drene el aceite del depósito de aceite lubricante al interior de un recipiente aprobado y deséchelo de acuerdo con los procedimientos establecidos.	
	3	<b>Interior del depósito</b>	
		Limpie el interior del depósito y la superficie del calentador.	
		Inspeccione las superficies interiores en busca de corrosión.	
	4	Limpie y vuelva a cubrir, según sea requerido.	
		<b>Filtro interno</b>	
		Retire e inspeccione el filtro interno en busca de presencia de partículas metálicas.	
	5	Registre las observaciones.	
		Limpie y reemplace el elemento de filtrado.	
		<b>Ampolla del respiradero</b>	
	6	Inspeccione la ampolla del respiradero en busca de protuberancias, grietas y otras imperfecciones.	
		Reemplace según sea requerido.	
	6	<b>Limpie y cierre el depósito.</b>	
		Asegúrese de que todas las contra tuercas, cubiertas de las válvulas y pernos de montaje estén apretados.	
		Después de haberse completado las inspecciones de MP y las reparaciones mecánicas, eléctricas y de los instrumentos, verifique la condición de las empaquetaduras y sellos de los paneles de acceso.	
		Reemplace según sea requerido, e instale los paneles de manera firme.	
			Limpie el exterior del depósito y prepárelo para la operación.

Fuente: *Elaboración propia.*

**Cuadro N°10: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema de disco de frenos.**

<b>Discos y calibradores del sistema de frenos</b>	1	<b>Verifique la función de liberación del freno</b>
		En cada conjunto de calibradores, cierre manualmente cada válvula de aislamiento y aplique una presión de liberación de 6985 kPa (1000 psig) con una fuente eléctrica independiente a través del accesorio de conexión rápida.
		Verifique el funcionamiento uniforme del cilindro y de la articulación de conmutación.
		Verifique la flojedad de la articulación de conmutación.
		Verifique la holgura entre las almohadillas de fricción.
		Mida esta holgura y regístrela.
		Compare los resultados con las mediciones anteriores.
		Verifique la existencia de fugas en el ariete del sello del cilindro.
	Verifique la condición de la almohadilla de fricción en busca de indicios de agrietamiento, quemado y desgaste discontinuo.	
	2	<b>Verifique el descentramiento lateral del disco</b>
		Configure el indicador de cuadrante para verificar un lado del disco en busca de descentramiento lateral. Cuando el molino vuelva a funcionar a plena potencia, disponga el funcionamiento del molino a la velocidad de reptación (0,3 rpm).
		Registre las lecturas de descentramiento en al menos ocho ubicaciones al igual que las mediciones de grosor del disco.
		Si cualquiera de estas lecturas exceden el descentramiento máximo permitido, realice otra prueba con 16 ubicaciones, y registre las mediciones.
		El descentramiento máximo permitido es de 0,25 mm (0,001 pulg) por cada 304,8 mm (12 pulg) de diámetro exterior del disco. Por ejemplo, si el diámetro del disco es de 11.278 mm (37 pies), el descentramiento lateral máximo permitido es de 0,938 mm (0,037 pulg).

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Cuadro N°11:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema de disco de frenos.*

<b>Bomba de reducción/carga del acumulador</b>	1	<b>Filtro de carga del acumulador</b>
		Abra e inspeccione el elemento de filtrado de carga del acumulador en busca de presencia de partículas metálicas.
		Registre las observaciones.
		Limpie o reemplace el elemento de filtrado según sea requerido.
	2	<b>Inspeccione el funcionamiento de la bomba</b>
		Arranque la bomba y observe su operación en busca de ruido excesivo, vibración, fugas y presión de descarga.
		Si los circuitos de carga y reducción están trabajando en vacío, verifique la válvula de alivio para confirmar la descarga al cabezal.
		Apague al bomba y registre las observaciones.
	3	<b>Liberación para la operación</b>
		Libere el molino para un mantenimiento adicional o para la operación, de acuerdo con los procedimientos establecidos.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°12:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

Área:	Eléctrica - Apagado	
Equipo:	Sistema de lubricación de los cojinetes del molino de bolas outotec 24'x36' - Motor de la bomba de acondicionamiento de baja presión.	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Motor de la bomba de acondicionamiento de baja presión.	1	<b>Tareas semanales de MP</b> Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Extracción de corriente del motor</b> Con el sistema de lubricación en operación normal, mida y registre la extracción total de corriente, al igual que la corriente de cada fase para ambos motores del MCC. Compare las corrientes de fase.
	3	<b>Comprobación mecánica</b> Verifique que esté completa la comprobación mecánica del motor para cada bomba asociada.
	4	<b>Sello de la caja de conexiones del motor</b> Inspeccione los sellos de la caja de conexiones del motor para detectar señales de fugas y daños.
	5	<b>Inspección de los cojinetes del motor</b> Inspeccione los cojinetes internos y externos para detectar fugas de aceite, indicando la separación de la grasa del cojinete.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°13:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

<b>Motor de la bomba de acondicionamiento de baja presión.</b>	6	<b>Inspección física de conductos y cables.</b> Inspeccione el cable eléctrico y el conducto para detectar señales de daños físicos.
	7	<b>Apriete las terminaciones de los cables eléctricos.</b> Verifique que todas las terminaciones del circuito eléctrico queden apretadas de acuerdo con las especificaciones de apriete del fabricante.
	8	<b>Resistencia de aislamiento del estator del motor y del cable eléctrico.</b> Desde el MCC, realice pruebas de tensión del motor y cable (línea a línea, y línea a tierra) a 500 VCC. Si los niveles de resistencia son inaceptables, determine si el problema se encuentra en el motor o en el cable.
	9	<b>Continuidad del cable de control</b> Utilizando un multímetro, verifique la continuidad de todos los cables de control entre el arrancador del motor, la estación/panel de control local en terreno y el PLC/DCS.
	10	Prueba funcional del motor La prueba funcional incluye el arranque/parada local desde la estación de control del motor y/o el panel de control local, el arranque/parada remoto del PLC/DCS y la verificación de todas las señales entre el arrancador del motor y el PLC/DCS, las estaciones de trabajo del operador y los paneles de control local.
	11	<b>Ajuste por sobrecarga térmica</b> Para relés de sobrecarga térmica tipo NEMA, verifique que esté instalado el elemento calentador correcto en base a la información de la placa de identificación del motor.
	12	<b>Liberación para el servicio</b> Limpie las superficies de la caja del motor para asistir en el enfriamiento. Mida la tensión del suministro al MCC y verifique que coincida con los requisitos de diseño.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°14:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

<b>Panel de control local</b>	13	<b>Panel frontal</b>	
		Revise el panel frontal en busca de componentes dañados y faltantes.	
		Abra la cubierta/puerta para lograr acceso al interior de la caja de control.	
		Inspeccione todo el cableado en busca de conductores expuestos.	
			Inspeccione las tarjetas de circuitos impresos en busca de componentes dañados.
	14	<b>Limpieza</b>	
		Aspire el interior de la caja del panel de control y limpie las superficies externas.	
	15	<b>Liberación para el servicio</b>	
		Quite los candados y rótulos en el MCC de acuerdo con el procedimiento establecido una vez que se haya completado todo el trabajo de mantenimiento y reparación, y libere la unidad para el servicio.	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°15: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.**

Área:	Eléctrica - Apagado	
Equipo:	Sistema de lubricación de los cojinetes del molino de bolas outotec 24'x36' - Motor de la bomba de levantamiento de alta presión.	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Motor de la bomba de levantamiento de alta presión	1	<b>Tareas semanales de MP</b>
		Complete las tareas semanales de MP especificadas en la hoja de verificación de MP.
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Extracción de corriente del motor</b>
		Con el sistema de lubricación en operación normal, mida y registre la extracción total de corriente, al igual que la corriente de cada fase.
		Compare las corrientes de fase. Cada una debe ser de al menos un 93 % de la lectura de corriente más alta. Las mediciones bajas de corriente de fase indican un desequilibrio en la fase del motor, y pueden requerir el reemplazo del motor.
	3	<b>Terminales eléctricas</b>
		Apague el sistema de lubricación, bloquee y rotule en el MCC, e intente arrancar desde el panel de control local.
		Con los motores de la bomba aisla dos de sus circuitos eléctricos y de control, verifique las terminales de potencia en busca de signos de calor excesivo.
	4	Desconecte y limpie las terminales sueltas, y vuelva a conectarlas de manera firme.
		<b>Sello de la caja de conexiones del motor</b>
		Inspeccione los sellos de la cubierta de la caja de conexiones para detectar señales de fugas y daños.
		Reemplace según sea requerido.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°16:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Motor de la bomba de levantamiento de alta presión</b>	5	<b>Conjunto del motor</b> Corrija todas las condiciones anormales de temperatura, vibración y ruido observadas y medidas durante las inspecciones semanales de MP.
	6	<b>Controles locales</b>
		Presione el botón pulsador de prueba de la lámpara en el panel de control local para determinar si alguna lámpara está quemada.  Inspeccione el panel en busca de botones, interruptores e indicadores dañados o faltantes. Repare o reemplace según sea requerido.
	7	<b>Conductos y cables</b>
		Inspeccione el cable eléctrico y el conducto para detectar señales de calor excesivo y daños físicos.  Repare o reemplace según sea requerido.
	8	<b>Liberación para el servicio</b>
		Limpie las superficies de la caja del motor para asistir en el enfriamiento.
		Quite los candados y rótulos en el MCC de acuerdo con el procedimiento establecido una vez que se haya completado todo el trabajo de mantenimiento y reparación, y libere la unidad para el servicio.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Cuadro N°17: Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.

Área:	Eléctrica - Apagado	
Equipo:	Sistema de lubricación de los cojinetes del molino de bolas outotec 24'x36' - Motor de la bomba de carga/reducción del acumulador	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Motor de la bomba de carga/reducción del acumulador	1	<b>Tareas semanales de MP</b>
		Complete las tareas semanales de MP especificadas en la hoja de verificación de MP.
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Extracción de corriente del motor</b>
		Con el sistema de lubricación en operación normal, desde el MCC, mida y registre la extracción total de corriente, al igual que la corriente de cada fase para ambos motores.
		Compare las corrientes de fase.
	3	<b>Terminales eléctricas</b>
		Apague el sistema de lubricación, bloquee y rotule en el MCC, e intente arrancar desde el panel de control local.
		Con el motor de la bomba aislado de sus circuitos eléctricos y de control, verifique las terminales de potencia en busca de signos de calor excesivo.
		Desconecte y limpie las terminales sueltas, y vuelva a conectarlas de manera firme.

Fuente: *Elaboración propia.*

**Cuadro N°18:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

<b>Motor de la bomba de carga/reducción del acumulador</b>	4	<b>Sello de la caja de conexiones del motor</b>
		Inspeccione los sellos de la cubierta de la caja de conexiones para detectar señales de fugas y daños.
		Reemplace según sea requerido.
	5	<b>Conjunto del motor</b>
		Corrija todas las condiciones anormales de temperatura, vibración y ruido observadas y medidas durante las inspecciones semanales de MP.
	6	<b>Controles locales</b>
		Presione el botón pulsador de prueba de la lámpara en el panel de control local para determinar si alguna lámpara está quemada.
		Inspeccione el panel en busca de botones, interruptores e indicadores dañados o faltantes.
		Repare o reemplace según sea requerido.
	7	<b>Conductos y cables</b>
		Inspeccione el cable eléctrico y el conducto para detectar señales de calor excesivo y daños físicos.
		Repare o reemplace según sea requerido.
8	<b>Liberación para el servicio</b>	
	Limpie las superficies de la caja del motor para asistir en el enfriamiento.	
	Quite los candados y rótulos en el MCC de acuerdo con el procedimiento establecido una vez que se haya completado todo el trabajo de mantenimiento y reparación, y libere la unidad para el servicio.	

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Cuadro N°19:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

Área:	Eléctrica - Apagado	
Equipo:	Sistema de frenos del molino de bolas outotec 24'x36' - Motor de la bomba de fluido hidráulico del sistema de frenos.	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Motor de la bomba de fluido hidráulico del sistema de frenos	1	<b>Tareas semanales de MP</b>
		Complete las tareas semanales de MP especificadas en la hoja de verificación de MP.
		Corrija todas las condiciones anormales observadas y medidas.
	2	<b>Extracción de corriente del motor</b>
		Con los frenos liberados, desde el MCC, mida y registre la extracción total de corriente, al igual que la corriente de cada fase para ambos motores.
		Compare las corrientes de fase.
	3	<b>Terminales eléctricas</b>
		Apague el sistema de frenos, bloquee y rotule en el MCC, e intente arrancar desde el panel de control local.
		Con el motor de la bomba aislado de sus circuitos eléctricos y de control, verifique las terminales de potencia en busca de signos de calor excesivo.
		Desconecte y limpie las terminales sueltas, y vuelva a conectarlas de manera firme.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°20:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema eléctrico.*

<b>Motor de la bomba de fluido hidráulico del sistema de frenos</b>	4	<b>Sello de la caja de conexiones del motor</b>
		Inspeccione los sellos de la cubierta de la caja de conexiones para detectar señales de fugas y daños.
		Reemplace según sea requerido.
	5	<b>Conjunto del motor</b>
		Corrija todas las condiciones anormales de temperatura, vibración y ruido observadas y medidas durante las inspecciones semanales de MP.
	6	<b>Controles locales</b>
		Presione el botón pulsador de prueba de la lámpara en el panel de control local para determinar si alguna lámpara está quemada. Inspeccione el panel en busca de botones, interruptores e indicadores dañados o faltantes.
		Repare o reemplace según sea requerido.
	7	<b>Conductos y cables</b>
		Inspeccione el cable eléctrico y el conducto para detectar señales de calor excesivo y daños físicos.
	8	
		<b>Liberación para el servicio</b>
Limpie las superficies de la caja del motor para asistir en el enfriamiento.		
	Quite los candados y rótulos en el MCC de acuerdo con el procedimiento establecido una vez que se haya completado todo el trabajo de mantenimiento y reparación, y libere la unidad para el servicio.	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°21:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Área:	Instrumento - Apagado	
Equipo:	Sistema de lubricación de los cojinetes principales del molino de bolas outotec 24'x36' y sistema de frenos hidráulicos.	
Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Indicador de nivel	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de fugas y daños. Repare o reemplace según sea requerido.
	2	Limpie el vidrio y la caja.
	3	Verifique el nivel del depósito y confírmelo por observación visual.
Indicador de temperatura	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos. Repare o reemplace según sea requerido.
	2	Desmunte el conjunto de manómetro de su pozo térmico.
		Verifique la condición del sensor y del pozo térmico.
		Limpie el sensor y el pozo térmico.
	3	Haga coincidir la salida del sensor con la temperatura ambiente.
4	Vuelva a colocar el conjunto del medidor en el pozo y apriételo.	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°22:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Interruptor de nivel</b>	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos. Repáre o reemplace según sea requerido.
	2	Inspeccione el cable del instrumento y los conductos para detectar señales de daños físicos. Repáre o reemplace según sea requerido.
	3	Con un multímetro, verifique la continuidad de todo el cableado entre el instrumento y el PLC/DCS.
	4	Inspeccione visualmente que el cableado esté terminado de acuerdo con los diagramas esquemáticos de cableado. Apriete todas las conexiones.
	5	Verifique el estado de la señal de las condiciones normal y de alarma en el PLC/DCS y en las estaciones de trabajo del operador.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°23:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Indicador de presión</b>	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos.
		Repare o reemplace según sea requerido.
	2	Cierre la válvula de aislamiento del manómetro.
	3	Desmonte el manómetro.
		Aplique una presión de prueba igual al 50% del alcance, y registre la presión correspondiente indicada en el manómetro.
		Verifique que la indicación coincida con la exactitud publicada del instrumento.
	4	Vuelva a colocar el manómetro en su lugar y apriete las tuercas.
5	Abra la válvula de aislamiento del manómetro.	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°24:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Válvula de alivio de presión</b>	1	Inspeccione la válvula para detectar señales de daños físicos.
		Reemplace según sea requerido.
		No trate de hacer reparaciones en terreno.
	2	Arranque la bomba asociada únicamente después de haber completado las pruebas mecánicas y eléctricas previas a la puesta en servicio.
3	Determine los puntos de ajuste de la válvula de alivio.	
	Verifique el rótulo para asegurarse de que el ajuste de corriente sea correcto.	
4	Limpie el exterior de la válvula.	
<b>Caudalímetro (mirilla)</b>	1	Inspeccione la mirilla en busca de daños, grietas y decoloración.
		Reemplace según sea requerido.
	2	Si el vidrio está turbio o sucio, desmóntelo y límpielo.
		Inspeccione las empaquetaduras y los sellos, y reemplácelos según sea requerido.
		Vuelva a instalar el vidrio.
	3	Inspeccione el cuerpo del medidor en busca de daños y señales de fugas.
Limpie el medidor y el cuerpo.		

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°25:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
Válvula de control de temperatura	1	Inspeccione el cuerpo de la válvula para detectar señales de daños físicos. Reemplace según sea requerido.
	2	Asegúrese de que las tuberías capilares estén continuamente soportadas y que no haya fugas presentes. Asegúrese de que aparezca el punto de ajuste correcto en el rótulo.
	3	Limpie el exterior de la válvula.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°26:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Elemento de temperatura/Transmisor de temperatura.</b>	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos.
		Repáre o reemplace según sea requerido.
	2	Inspeccione el cable de la instrumentación y los conductos para detectar señales de daños físicos.
		Repáre o reemplace según sea requerido.
	3	Utilizando un multímetro, verifique la continuidad de todo el cableado entre el instrumento y el PLC/DCS.
	4	Desconecte los cables del RTD desde el transmisor de temperatura.
		Conecte un generador de señales de resistencia para Pt +100 RTDs al transmisor de temperatura.
		Simule 0 %, 50 % y 100 % del alcance configurado de temperatura del transmisor.
		Registre la salida de 4-20 mA del transmisor, y verifique que esté indicada la temperatura correcta en las estaciones de trabajo del operador.
		Verifique las escalas del PLC/DCS.
	5	Reconecte el RTD al transmisor.
	6	Inspeccione físicamente que el cableado esté terminado de acuerdo con los diagramas esquemáticos de cableado.
		Apriete todas las conexiones.
	7	Para verificar la operación del RTD, compare la señal de salida del transmisor en el PLC/DCS con la temperatura ambiente.

Fuente: *Elaboración propia.*



**Cuadro N°27:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Indicador de presión diferencial</b>	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos. Repare o reemplace según sea requerido.
	2	Cierre la válvula de aislamiento del manómetro.
	3	Desmunte el manómetro de presión diferencial. Aplique una presión diferencial de prueba igual al 50 % del alcance, y registre la presión diferencial correspondiente indicada en el manómetro.
		Verifique que la indicación coincida con la exactitud publicada del instrumento.
	4	Vuelva a instalar el manómetro y apriete las tuercas.
	5	Abra las válvulas de aislamiento del manómetro de alta y baja presión.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°28:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Interruptor de presión diferencial</b>	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos. Repáre o reemplace según sea requerido.
	2	Inspeccione el cable de la instrumentación y los conductos para detectar señales de daños físicos. Repáre o reemplace según sea requerido.
	3	Asegúrese de que el sistema esté despresurizado.
	4	Utilizando una fuente de presión de prueba, calibre y verifique que el punto de ajuste del interruptor esté fijado de acuerdo con la Lista.
	5	Utilizando un multímetro, verifique la continuidad de todo el cableado entre el instrumento y el PLC/DCS.
	6	Inspeccione físicamente que el cableado esté terminado de acuerdo con los diagramas esquemáticos de cableado. Apriete todas las conexiones.
	7	Verifique el estado de la señal de las condiciones normal y de alarma en el PLC/DCS y en todas las estaciones de trabajo del operador.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°29:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Válvula de control de flujo</b>	1	Inspeccione el cuerpo de la válvula para detectar señales de daños físicos y fugas. Repáre o reemplace según sea requerido.
	2	Utilizando el indicador de flujo corriente abajo, verifique que la presión corriente abajo coincida estrechamente con el punto de ajuste de acuerdo con la Lista de instrumentos. Fije el punto de ajuste según sea requerido.
	3	Asegúrese de que la contratuerca de ajuste quede apretada.
	4	Limpie el exterior de la válvula.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°30:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Válvula de solenoide</b>	1	Inspeccione el cuerpo de la válvula para detectar señales de daños físicos y fugas.
		Repare o reemplace según sea requerido.
	2	Inspeccione los cables de la instrumentación y los conductos para detectar señales de daños físicos.
		Repare o reemplace según sea requerido.
	3	Utilizando un multímetro, verifique la continuidad de todo el cableado entre el instrumento y el PLC/DCS.
	4	Inspeccione físicamente que el cableado esté terminado de acuerdo con los diagramas esquemáticos de cableado.
		Apriete todas las conexiones.
	5	Verifique la operación de energización/desenergización del solenoide desde el PLC/DCS.
	6	Mientras el solenoide esté energizado, observe la fluidez, la temperatura y el sonido de operación de la válvula.
		Reemplace la válvula piloto si su operación es incorrecta.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°31:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Transmisor de indicación de la presión</b>	1	Inspeccione el instrumento para detectar señales de daños físicos. Repáre o reemplace según sea requerido.
	2	Inspeccione el cable de la instrumentación y los conductos para detectar señales de daños físicos. Repáre o reemplace según sea requerido.
	3	Limpie el vidrio de la pantalla y el exterior de la caja.
	4	Utilizando un multímetro, verifique la continuidad de todo el cableado entre el instrumento y el PLC/DCS.
	5	Inspeccione el cableado en busca de daños, abrasión y conductores expuestos. Repáre o reemplace el cableado dañado.
	6	Cierre la válvula de bloque del transmisor de presión y abra la válvula de purga.
	7	Utilizando una fuente de presión de prueba, simule 0 %, 50 % y 100 % del alcance configurado de presión del transmisor. Registre la salida de 4-20 mA del transmisor, y verifique que esté indicada la presión correcta en las estaciones de trabajo del operador. Verifique las escalas del PLC/DCS.
	8	Cierre la válvula de purga del transmisor de presión y abra la válvula de bloque.
	9	Apriete todas las conexiones de las terminales.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Cuadro N°32:** *Tareas de mantenimiento preventivo en sistema instrumentativo.*

Componente	Tarea N°	Tarea de MP
<b>Transmisor de flujo</b>	1	Inspeccione el cuerpo de la válvula para detectar señales de daños físicos y fugas.
		Repáre o reemplace según sea requerido.
	2	Inspeccione los cables de la instrumentación y los conductos para detectar señales de daños físicos.
		Repáre o reemplace según sea requerido.
	3	Utilizando un multímetro, verifique la continuidad de todo el cableado entre el instrumento y el PLC/DCS.
	4	Desconecte el cable de instrumentación desde el transmisor.
		Utilizando un generador de señales, simule señales de 0 %, 50 % y 100 % al PLC/DCS.
		Verifique que esté indicado el flujo correcto en las estaciones de trabajo del operador.
		Verifique las escalas del PLC/DCS.
	5	Apriete todas las conexiones de las terminales.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 5.14. Pruebas de hipótesis

Al tratarse de un estudio básico y descriptivo, no fue necesario comprobar las hipótesis.

#### 5.15. Discusión y análisis de los resultados del AMEF

El resultado de análisis, se ha identificado sistemas con fallas de riesgo de prioridad, alto y medio. Estas fueron plasmadas en tablas de AMEF.

Se muestra a continuación tablas de acuerdo a cada sistema y componente identificado:

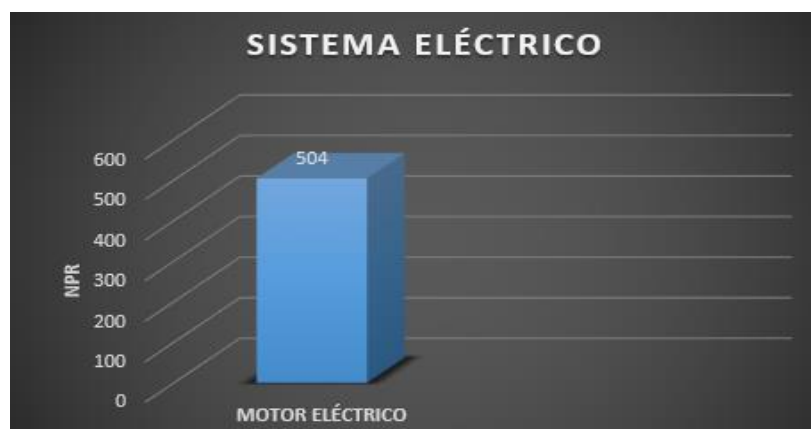
**Tabla N°51:** Estado total de las fallas con NPR del molino de bolas outotec 24'x36'.

SISTEMA	COMPONENTE	NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)	ESTADO
ELÉCTRICO	Motor eléctrico	504	RIESGO ALTO
TRANSMISIÓN	Reductor principal	448	RIESGO MEDIO
	contraeje	432	RIESGO MEDIO
	Catalina	324	RIESGO MEDIO
CARGA Y DESCARGA	Spout feeder	448	RIESGO MEDIO
	Trommel	512	RIESGO ALTO
SOPORTE	Trunnion de carga	420	RIESGO MEDIO
	Trunnion de descarga	800	RIESGO ALTO
LUBRICACIÓN	Bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing	378	RIESGO MEDIO
	Bomba de engranajes de lubricación de motor	448	RIESGO MEDIO
	Bomba de engranajes de recirculación	504	RIESGO ALTO
INCHING DRIVE	Motor auxiliar	504	RIESGO ALTO
	Reductor auxiliar	210	RIESGO MEDIO
RECUBRIMIENTO	Liners	648	RIESGO ALTO
	Lifter	720	RIESGO ALTO

**Fuente:** *Elaboración propia.*

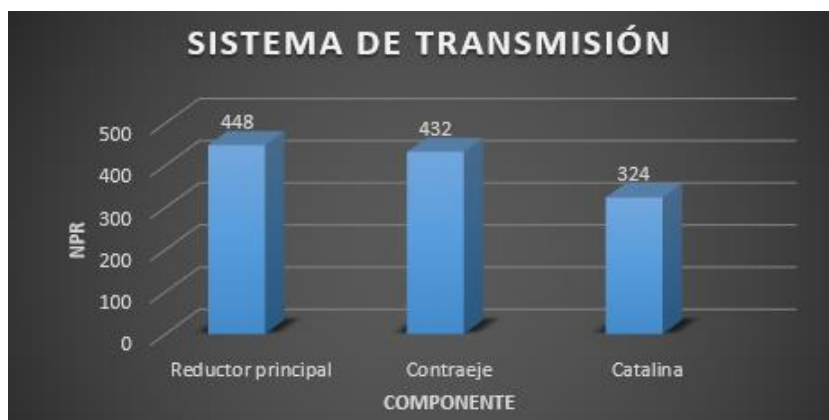
Realizaremos gráficas de cada sistema y sus componentes, para visualizar las fallas con NPR.

**Figura N°63:** Número de prioridad de riesgo del sistema eléctrico.



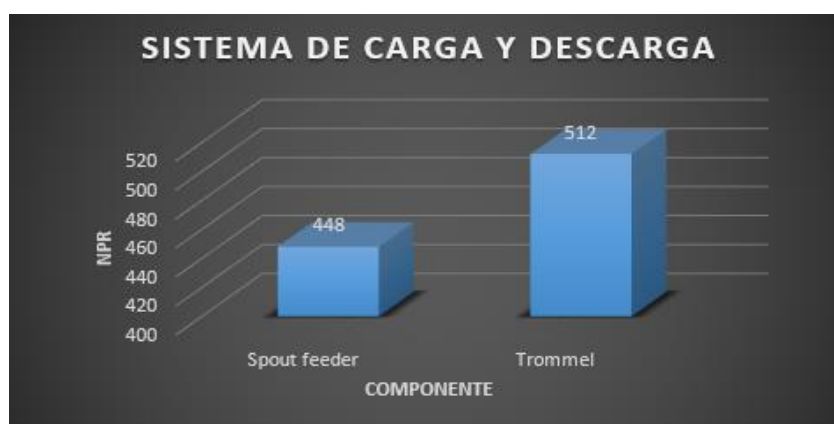
**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°64:** Número de prioridad de riesgo del sistema de transmisión.



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura N°65:** Número de prioridad de riesgo del sistema de carga y descarga.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

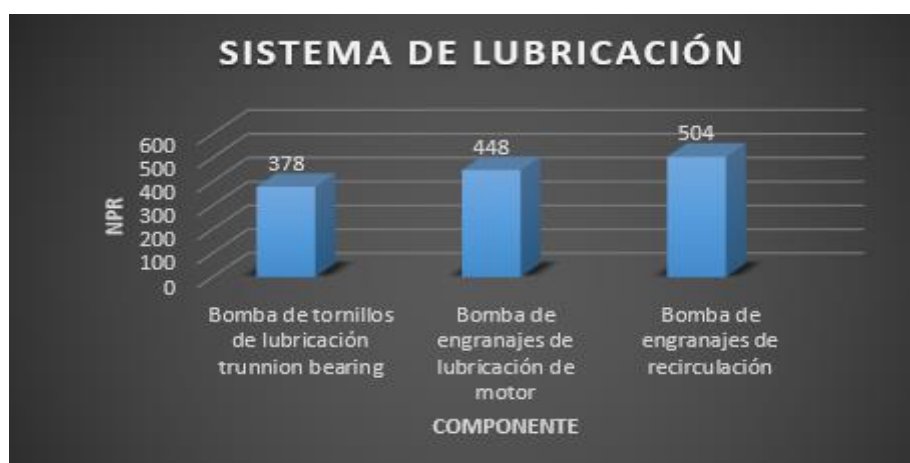


**Figura N°66:** Número de prioridad de riesgo del sistema de soporte.



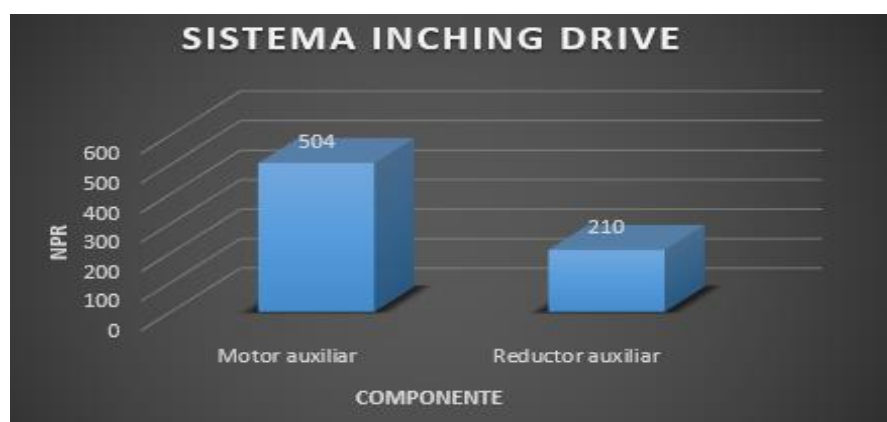
**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°67:** Número de prioridad de riesgo del sistema de lubricación.



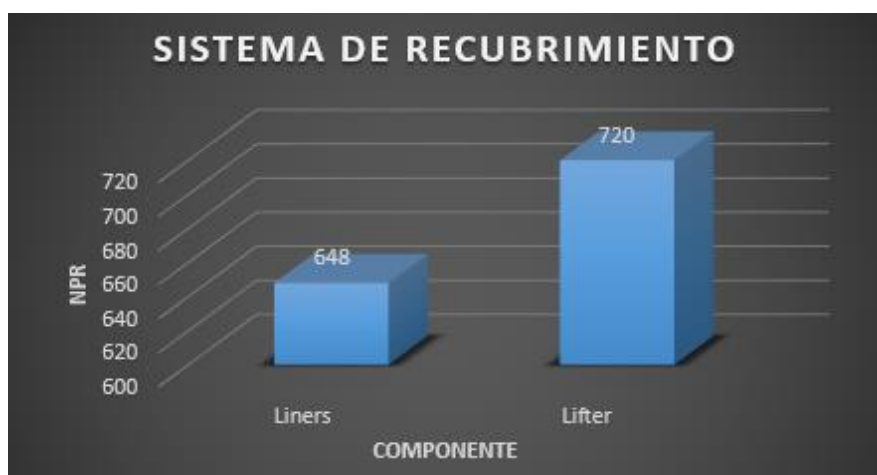
**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°68:** Número de prioridad de riesgo sistema inching drive.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°69:** Número de prioridad de riesgo sistema de recubrimiento.



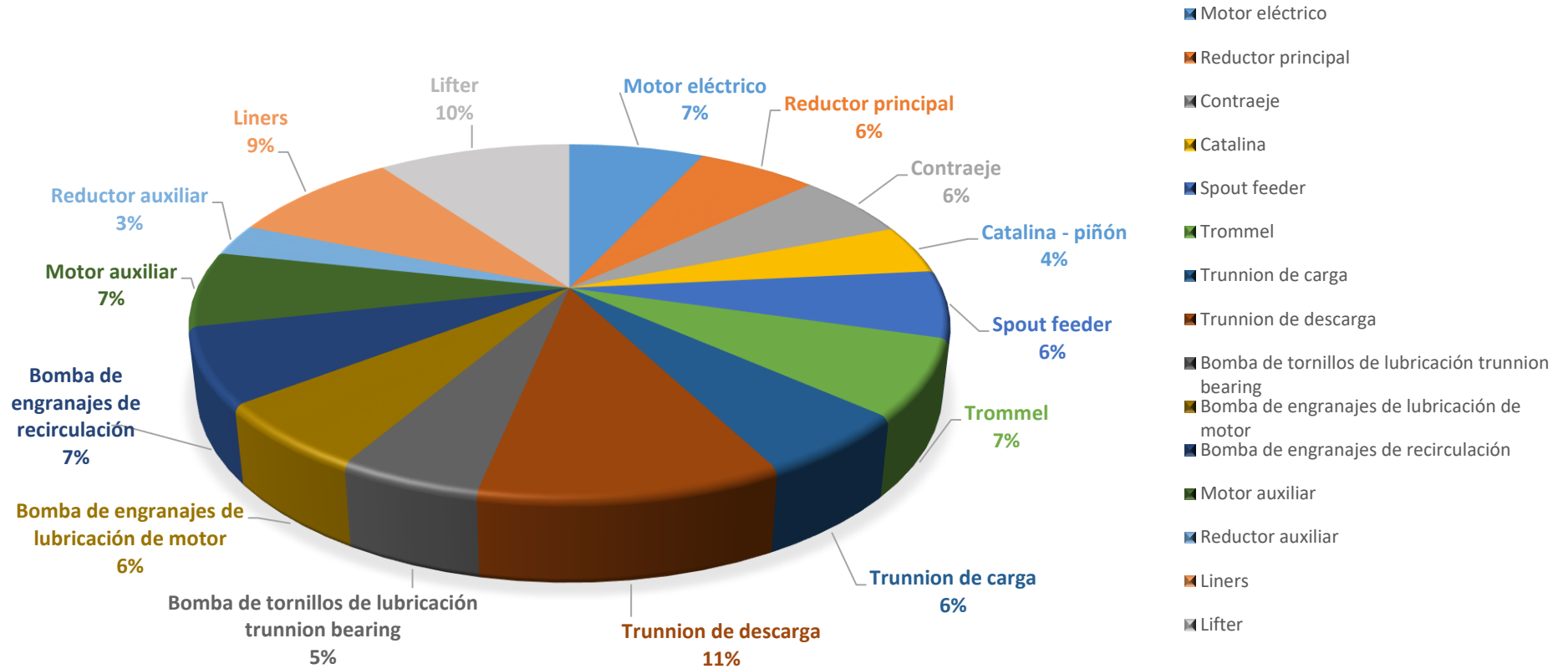
**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°70:** Estado total de fallas con NPR del molino de bolas outotec 24'x36'.



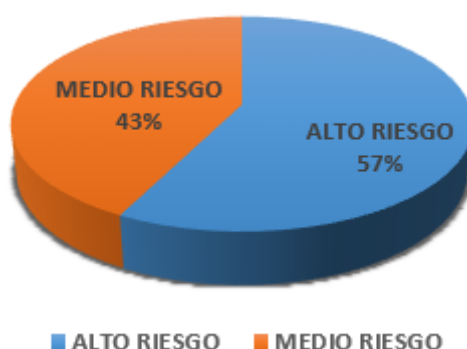
**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N°71:** Porcentaje de falla de cada componente del molino de bolas outotec 24'x36' desarrollado por el AMEF.



Fuente: *Elaboración propia.*

**Figura N°72:** Estado porcentual de riesgo de falla del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

De acuerdo con el trabajo de investigación, se logró analizar los componentes del molino de bolas outotec 24'x36' con mayor índice de criticidad, priorizando el mayor número de fallas del molino de bolas. Se realizó el análisis de estado de cada uno de ellos y de su mantenimiento preventivo necesario, dando así el reemplazo de los revestimientos internos como son: los liners y lifter debido a que, por acción de rotación de la carga en el interior del molino, por el principio de impacto y fricción entre el mineral, las bolas de acero y el agua.

El número prioridad de fallo con riesgo medio es de 43% y con riesgo inaceptable (alto riesgo) es de 57%. El riesgo de falla media está compuesto por los componentes: reductor principal, contraeje, catalina, spout feeder, trunnion de carga, bomba de tornillos de lubricación trunnion bearing, bomba de engranajes de lubricación de motor y reductor auxiliar. El alto riesgo está compuesto por los componentes: motor eléctrico, trommel, bomba de engranajes de recirculación, trunnion de descarga, motor auxiliar, liners y lifter. El cual tiende a fallar debido a la pérdida progresiva de material en la superficie de trabajo de

dos piezas en contacto, abrasión, desgaste debido a la carga del molino entre otros.

El molino de bolas outotec 24'x36' está sujeto a fallas de sus componentes el cual se requiere establecer un plan de mantenimiento preventivo, con la ayuda del Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), que es un método en el que se busca detectar las posibles fallas del proceso o producto antes de que ocurra el fallo. Esto ayudará a establecer una mayor confiabilidad tanto en su funcionamiento como en la producción de una planta concentradora de mineral.

De acuerdo al desarrollo de la tesis se pudo identificar los componentes con mayores índices de criticidad y el número de prioridad de riesgo son elevados lo que conllevan a fallar el molino de bolas. Para llegar a este análisis se tuvo que definir sus componentes y sus características.

Cabe mencionar también que principales razones que conduce el buen estado de funcionamiento del molino de bolas de las plantas concentradoras de una unidad minera, es analizar el funcionamiento correcto y el estado de cada una de las partes del molino de bolas, Después de eso, se realizan las tablas para los análisis de modos y efectos de falla (AMEF) para cada componente, luego se realiza la evaluación de cada componente con un número de ranking de 1 al 10 de número de prioridad de riesgo, ya sea en valor de severidad, valor de ocurrencia y valor de detección de fallas. Los riesgos de fallas con un valor más alto, se calculan por el número de prioridad de riesgos (NRP). En el análisis de las fallas del molino de bolas se encontró que los componentes críticos el motor eléctrico (sistema eléctrico), el trommel (sistema de descarga), el trunnion de descarga (sistema de soporte), la bomba de engranaje de recirculación

(sistema de lubricación), el motor auxiliar (sistema inching drive) y en la parte de los recubrimientos internos los liners y lifter. Estos elementos tienen el rango de mayor porcentaje de fallas y del número de prioridad de riesgo (NRP), ocasionados debido al desgaste por fatiga, fractura mecánica, fricción y polución que soporta el molino de bolas outotec 24'x36'.

Los revestimientos para el molino de bolas outotec 24'x36' cumplen un rol fundamental: proteger del intenso desgaste producido al triturar material duro. No todos los revestimientos están creados de la misma forma. Desde la resistencia a la abrasión y al impacto distintos materiales brindan diferentes ventajas. Los de acero brindan una protección de alta calidad contra el desgaste de impacto, mientras los revestimientos de caucho son ideales para combatir el desgaste contra la abrasión. Asimismo, los revestimientos de caucho son, por lo general, una solución menos costosa y de mayor manejo al cambiar los lifter y liners.

En cada ficha se indica que la acción a tomar es un mantenimiento preventivo ya que el AMEF tiene como objetivo minimizar o eliminar las fallas recurrentes analizadas.

### 5.16. Aportes y aplicaciones

- El estudio me ha permitido adquirir conocimientos sobre el método de AMEF y las posibilidades de utilizar este modelo de análisis de fallos en otras piezas de maquinaria vitales. Con él podría desarrollar o mejorar los planes de mantenimiento y también optimizar el tiempo, los recursos y los gastos. importante a la hora de planificar el mantenimiento. También puede aplicarse a otro tipo de planes, como los de lubricación predictiva, para ser más precisos en sus propias y variadas condiciones y fallos.
- Si bien es cierto que el estudio no se centra en el aumento de la disponibilidad, la reducción de costes tendrá un impacto positivo porque el desarrollo del AMEF permitirá organizar mejor las actividades para que se lleven a cabo en momentos optimizados. Esto reducirá significativamente las paradas no programadas.
- La molienda húmeda precisa menos energía por tonelada de mineral tratado (la humedad disminuye la resistencia de los fragmentos). Asimismo, La clasificación en medio húmedo exige menos espacio que la clasificación en seco (bombas, tubos, etc.) y la molienda por vía húmeda no necesita captadores de polvo y existe menos calentamiento de los equipos.
- La vida útil del revestimiento de caucho es 1.5 - 3.5 veces más que la del revestimiento de acero, es 1/6 más ligero, menos ruido, reduce en 8 -10 dB, su consumo de energía del molino de bolas es de 10 -15% menos y la eficiencia de producción es mayor en 5 - 10%. El estudio contempla también la evaluación de dos variables: Ángulo del lifter (levantador) y la

relación entre la altura del lifter para un mejor desempeño del molino de bolas outotec de 24'x36'.

- El análisis de efecto de modo de fallos para los revestimientos del molino de bolas outotec 24'x36' se encontró el problema y las posibles causas más comunes de desgaste.

Cuadro N°33: Componente y causas de revestimiento interno.

Componente	Problema	Causas posibles
Revestimientos internos del molino para proteger los componentes estructurales contra desgaste.	Los revestimientos se están desgastando de manera prematura.	1. El molino está girando sin alimentación a su interior.
		2. La tasa de alimentación al molino es insuficiente para mantener un lecho de material en el molino.
		3. El material del revestimiento es diferente de las especificaciones de diseño.
		4. La carga de bolas excede la especificación de diseño.
		5. La velocidad de rotación del molino es demasiado alto.
Pernos del revestimiento para asegurar los revestimientos en los cabezales y en el casco.	Fallo del perno.	1. Mala calidad de pernos o tuercas.
		2. Los pernos están sueltos.
		3. Los pernos no están correctamente asentados en el revestimiento.
		4. Alta carga del molino.
		5. RPM alta del molino.
		6. Contaminación corrosiva debido a fuentes externas.
		7. Contaminación corrosiva debido a fugas de fangos como consecuencia de empaquetaduras de sellado incorrectas o desgastadas.
		8. Carga caída del molino.

Fuente: *Elaboración propia.*



## CONCLUSIONES

- Se puede considerar que AMEF es una metodología cualitativa pues permite determinar los posibles fallos con sus respectivos efectos, con la que se puede tomar las acciones respectivas para realizar las modificaciones y programar un mantenimiento preventivo o correctivo. AMEF logra mejorar la calidad de prevención, la fiabilidad y la organización en el proceso de molienda del mineral.
- AMEF es un documento dinámico, que admite múltiples revisiones, observaciones y calificaciones de acuerdo a la criticidad de los componentes. Así mismo, se convierte en una fuente invaluable de información relacionada con los equipos, que puedan utilizarse tanto para el despliegue de acciones de prevención, corrección y mejora; como para la capacitación y formación del personal en temas relacionados con el manejo del equipo.
- Se llevó a cabo un análisis de fallos del molino de bolas outotec 24'x36' y sus diversos sistemas para obtener un análisis exhaustivo de cada componente crítico con el fin de proponer un plan de mantenimiento preventivo para cada componente.
- Al determinar las fallas con mayor prioridad de riesgo, pude mejorar la estructura y la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, utilizando el análisis de criticidad de los equipos y componentes. Haciendo uso del AMEF.

- Una parte del formato del plan de mantenimiento del estudio se utilizó para organizar el desarrollo del plan de mantenimiento que se sugirió como resultado final del estudio. Como resultado, se pudieron agrupar de forma sencilla las tareas necesarias de cada sistema del molino de bolas.
- Debido a que los diámetros de bolas de acero son menores que la abertura de la parrilla (descarga del material molido a través de las ranuras) del molino no son expulsadas completamente, el grado de empaquetamiento entre los cuerpos moledores y las partículas de roca, se ve afectado y por ende el movimiento de las partículas en el molino es más lento, por lo tanto, es necesario estudiar dicho fenómeno como un proceso clasificador dentro del equipo.
- La molienda por vía húmeda tiene un mayor desgaste de cuerpos moledores y blindajes que la molienda por vía seca (principalmente debido a la corrosión), hasta 6 u 8 veces superior. Lo que permite la constante evaluación de los revestimientos internos como los lifter y liners.
- El revestimiento de caucho reduce los niveles de ruido y mejora las condiciones de trabajo. Absorbe la energía debido a las grandes pérdidas internas al estar expuesto a impactos.
- De acuerdo con los resultados mostrados se pueda inferir que los levantadores magnifican la molienda, ya que estos generan las corrientes de catarata y cascada que dan origen a los mecanismos de molienda de impacto y abrasión.

- El levantador IV denota la mejor eficiencia de molienda, con un aumento de energía específica (kWh/ton) y produce la mayor cantidad de mineral fino.
- Al hacer un comparativo entre la geometría de los levantadores se concluye que tanto la altura como el ángulo de ataque son factores por considerar en el diseño de los lifter llamado comúnmente levantadores para una buena eficiencia del molino de bolas outotec de 24'x36'.
- Cabe resaltar que cuando aún no se utilizó las fichas AMEF el equipo tenía las siguientes programaciones de cambio para el mantenimiento correctivo.

**Cuadro N°34:** *Parámetros antes de utilizar el AMEF*

MODOS CORRECTIVOS	CANTIDAD DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLAS
Cambio de Revestimientos liners y lifter	10	2 meses
Cambio Piñón	1	4 meses
Cambio de Inching Drive	1	1mes
Cambio de Aceite de Lubricación	4	1 mes
Cambio Motor Eléctrico	1	2 meses
Cambio Bomba de Levante	5	3 meses
Cambio Tuberías Sist. Lubricación	6	2 meses
Cambio Grasa de Lubricación	2	1 mes
Cambio Rod. Motor Eléctrico	4	2meses
Falla Retén Bomba de Lubricación	4	3meses
Cambio Bomba de Lubricación	3	2 meses
Cambio de Filtros de Lubricación	4	1 mes
Cambio Descansos Alimentación-Descarga	2	3 meses
Cambio Sello Dinámico Alimentación	2	1 mes
Cambio Sello Estático Alimentación	2	1mes
Cambio Boquilla Alimentación	5	2 meses
Reparación Cajón de Alimentación	1	1mes
Cambio de Parrillas Descarga	1	3meses
Cambio de Pernos Descarga	2	3 meses
Reparación Cajón de Descarga	4	3meses

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- Después de utilizar el AMEF los mantenimientos correctivos pasaron a mantenerse de la siguiente forma.

**Cuadro N°35:** *Después de utilizar el AMEF*

MODOS CORRECTIVOS	CANTIDAD DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLAS
Cambio de Revestimientos liners y lifter	10	2 meses
Cambio Piñón	1	4 meses
Cambio de Inching Drive	1	3 meses
Cambio de Aceite de Lubricación	4	3 meses
Cambio Motor Eléctrico	1	4 meses
Cambio Bomba de Levante	5	4 meses
Cambio Tuberías Sist. Lubricación	6	3 meses
Cambio Grasa de Lubricación	2	2 meses
Cambio Rod. Motor Eléctrico	4	3 meses
Falla Retén Bomba de Lubricación	4	4 meses
Cambio Bomba de Lubricación	3	3 meses
Cambio de Filtros de Lubricación	4	3 meses
Cambio Descansos Alimentación-Descarga	2	4 meses
Cambio Sello Dinámico Alimentación	2	2 meses
Cambio Sello Estático Alimentación	2	2 meses
Cambio Boquilla Alimentación	5	3 meses
Reparación Cajón de Alimentación	1	2 meses
Cambio de Parrillas Descarga	1	4 meses
Cambio de Pernos Descarga	2	5 meses
Reparación Cajón de Descarga	4	4 meses

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- Finalmente, la propuesta del plan de mantenimiento y el plan de usar el AMEF el cual irá mejorando con el tiempo en base a la mejor calidad de registros y los resultados obtenidos. La recomendación fundamental se basa, principalmente, en la realización y generación de políticas que permitan el desarrollo de un mantenimiento centrado en la confiabilidad, con la utilización de esta herramienta de gestión que permita llevar un control y registro del equipo en base a inspecciones rutinarias; las cuales serán realizadas por el personal mecánico y administrativo de la empresa.

## RECOMENDACIONES

Esta herramienta nos permite establecer estadísticamente el nivel de fallo de cada componente y es de gran utilidad para establecer frecuencias de fallas, efectos y las causas más importantes.

- Compruebe los revestimientos, el elevador y los recubrimientos del molino de bolas, así como su funcionalidad. De este modo, las empresas mineras podrán aumentar la producción gracias al efecto interno de impacto y abrasión que se produce en el interior del molino de bolas outotec de 24'x36'.
- Una vez que ya se disponga de toda la información de los posibles fallos se debe identificar el grado de gravedad en cada caso. Entendiéndose que mediante este análisis se puede conocer el nivel de consecuencias que se pueden producir. Teniendo en cuenta que, en cuanto a la valoración numérica, el valor incrementa conforme incrementa ya sea la insatisfacción del cliente, o existen ya repercusiones en los costes, entre otros. Entendiéndose a su vez que la manera de mejorar los valores de los índices, es decir reducirlos se lograría mediante la acción correctora en el producto, proceso o servicio, estas medidas ya serían realizadas según el tipo de empresa ya que deben crear sus propias formas de aplicar (Bestraten y Orriols, 2006). El rango de los índices de gravedad que se usan normalmente es del 1 al 10, aunque como se ha mencionado anteriormente ya depende de las consideraciones que decida realizar la empresa y en algunos casos utilizan del 1 a 5. En la tabla que se muestra a continuación se presenta los criterios a ser considerados según la

valoración propuesta en este trabajo. En la Tabla N° 1 se presenta la valoración planteada para el análisis.

- Se recomienda utilizar el enfoque de AMEF, en una primera etapa para los equipos esenciales de una planta concentradora, a fin de minimizar o eliminar las fallas recurrentes y accionar un plan de mantenimiento preventivo.
- Para determinar con mayor precisión las acciones del plan de mantenimiento y la gravedad de falla, debe utilizarse el análisis de criticidad para determinar la criticidad de cada equipo o sistema.
- Los revestimientos de caucho son ideales para combatir el desgaste contra la abrasión e impacto es un material excepcionalmente fuerte, flexible, absorbente de impacto, impermeable, la relación costo-efectividad, estos revestimientos además son fáciles de instalar y reemplazar. Los revestimientos de caucho son altamente confiables y son una solución estándar que puede ser diseñada para adecuarse a la mayoría de las aplicaciones en una unidad minera.
- El molino de bolas outotec de 24'x36' deberán revisarse al menos cada 1 hora diaria en busca de problemas potenciales. Con frecuencia, la verificación de este equipo resulta esencial para mantener el porcentaje correcto de rendimiento del molino. El operador deberá corregir cualquier deficiencia o, si el problema excede su ámbito, advertir a la supervisión de la existencia del problema.
- La importancia de las piezas de recambio
- Una pieza de recambio, pieza de servicio o repuesto, es un artículo del inventario que se utiliza para la reparación inmediata o el reemplazo

de piezas fallidas. Existen varios motivos por lo cual una compañía debe tener un inventario de piezas de recambio. Tener piezas disponibles permite a las compañías poner nuevamente sus operaciones en funcionamiento, incluso después de una avería importante. Volver a la etapa de producción con la mayor rapidez posible evita perder tiempo en la producción de la pulpa de mineral. Las piezas de recambio son un gasto grande que se hace de una vez, pero estos costos son pequeños al compararse con los costos de una avería sin disponer de las piezas de recambio disponibles. Esperar la entrega de piezas esenciales puede requerir la parada de toda una planta, detener el trabajo y la producción por días o incluso semanas. Cuesta dinero mantener la planta en estado de inactividad, mientras la planta no está produciendo ingresos. Tener disponibles las piezas de recambio evita la necesidad de un emparchado a corto plazo que no sólo puede volver a fallar, sino que también puede ocasionar daños adicionales al proceso.

- Si está instalando revestimientos con placas separadas y barras elevadoras, la alineación del revestimiento se hará más difícil a medida que la instalación del revestimiento se mueve hacia arriba. Gire el molino con más frecuencia de modo de hacer la instalación constantemente en la parte inferior del molino.
- La alineación es crítica; si las filas no están rectas o los espacios entre los componentes de las filas no son uniformes, corrija el problema antes de continuar. Los pernos deben deslizarse fácilmente en posición. No fuerce ningún perno en los orificios para pernos. Si un

perno no se desliza fácilmente en posición, la placa de revestimiento puede no estar correctamente alineada o tal vez haya suciedad en el orificio del perno. Corrija el problema antes de seguir adelante, tan pronto se haya verificado la alineación de un componente del revestimiento, apriete los pernos con la llave para evitar el movimiento del componente. Si la alineación del anillo más externo del revestimiento del cabezal es crítica, tómese el tiempo para hacer bien el trabajo.

Antes de ingresar al molino de bolas outotec de 24'x36' tener en cuenta lo siguiente:

- Confirme que el molino de bolas esté apagado y desenergizado y cumpla con las condiciones de seguridad descrito anteriormente.
- Use los EPP adecuados correctamente para su intervención.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alcantará Valladares, J. R. (2008). *Diseño práctico de un molino de bolas*.
- [2] Algorta, I. (2006). *Análisis de una falla de una pieza de una empresa automotriz*. <https://1library.co/document/z120e53y-analisis-una-falla-una-pieza-una-empresa-automotriz.html>
- [3] Allpoc Ramos, E., & Parraga Olivera, E. (2008). Incremento de la capacidad de molienda mediante el empleo de zarandas de alta frecuencia en el circuito molienda-clasificación en la Compañía Minera Milpo – Unidad El Porvenir. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2211>
- [4] Bian, X., Wang, G., Wang, H., Wang, S., & Lv, W. (2017). Effect of lifters and mill speed on particle behaviour, torque, and power consumption of a tumbling ball mill: Experimental study and DEM simulation. *Minerals Engineering*, 105, 22–35. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2016.12.014>
- [5] Cajachagua Aire, E. R. (2021). *Factores que influyen en el eje de salida del reductor del molino de bolas dominio 12'x16' - Unidad Minera Huaron*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8015>
- [6] Castellanos Elías, J. (2013). La financiarización: El camino a la quiebra de General Motors. *Ola Financiera*, 6(15). <https://doi.org/10.22201/FE.18701442E.2013.15.40269>
- [7] Cesar Arróspide. (2008). *Modelo de mantención y reparación*. <https://www.gestiopolis.com/glosario-terminos-la-gestion-mantenimiento/>

- [8] Gamboa Montalvo, J. A. (2018). Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para El Molino De Bolas Kurimoto 8'x6' En La Unidad Minera Catalina Huanca. *Universidad Nacional de Trujillo*.  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10137>
- [9] Islam, K., & Murakami, S. (2021). Global-scale impact analysis of mine tailings dam failures: 1915–2020. *Global Environmental Change*, 70, 102361.  
<https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2021.102361>
- [10] John Moubray. (2004). *Estrategias para el ciclo de vida mantenimiento centrado en confiabilidad*.
- [11] Kolahi, S., Chegeni, M. J., & Shabani, K. S. (2021). Investigation of the effect of industrial ball mill liner type on their comminution mechanism using DEM. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 55(2), 97–107.  
<https://doi.org/10.22059/IJMGE.2020.289423.594826>
- [12] Li, X., Gong, F., Tao, M., Dong, L., Du, K., Ma, C., Zhou, Z., & Yin, T. (2017). Failure mechanism and coupled static-dynamic loading theory in deep hard rock mining: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(4), 767–782. <https://doi.org/10.1016/J.JRMGE.2017.04.004>
- [13] Sáez, D., Santiago, H., & Chile, D. E. (2013). *Detección de anomalías en molino de bolas usando modelos no-paramétricos*.  
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114567>
- [14] Víctor Hugo González. (2006). *propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipo*. <https://studylib.es/doc/8025392/propuesta-de-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-a...>
- [15] Villanueva Condori, D. I. (2020). Implementación de dispositivo extractor de polo para mantenimiento eléctrico de motor anular gmd de los molinos de

bolas C2 sociedad minera Cerro Verde. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12987>

- [16] Yanarico Pauro, C. O. (2018). Diseño de una herramienta de adaptación a cabezal de máquina enlainadora para la instalación de Filler Ring (liner de 320 kg) para el proceso de cambio de liners del molino de bolas en la planta concentradora C2 de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. -Arequipa. *Universidad Continental*.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5187>

- [17] Yin, Z., Peng, Y., Li, T., Zhu, Z., Yu, Z., & Wu, G. (2019). Effect of the operating parameter and grinding media on the wear properties of lifter in ball mills. *Https://Doi.Org/10.1177/1350650119894492*, 234(7), 1061–1074. <https://doi.org/10.1177/1350650119894492>

- [18] Zamudio, P., & Jackson, C. (2016). Análisis de las fallas de los equipos críticos de flotación, para reducir las pérdidas de producción en la unidad minera de Yauliyacu. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1654>

- [19] Hinojosa Quispe, j. h. (2017). diseño y simulación de un molino de bolas horizontal de 15 [tn/hr] aplicado a una planta concentradora mediante el uso de software cad especializado.

- [20] Meruane, V. (2011). Gestión de Activos Físicos, Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

## ANEXO

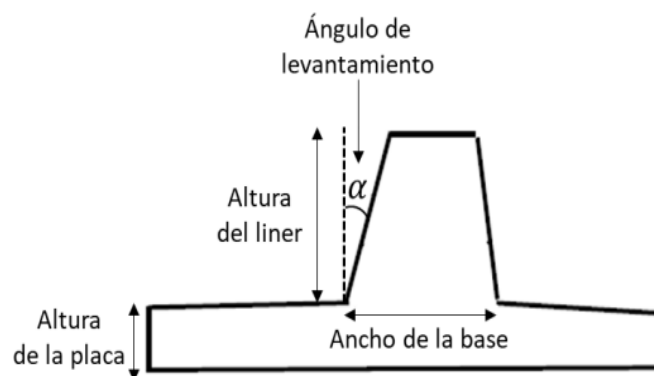
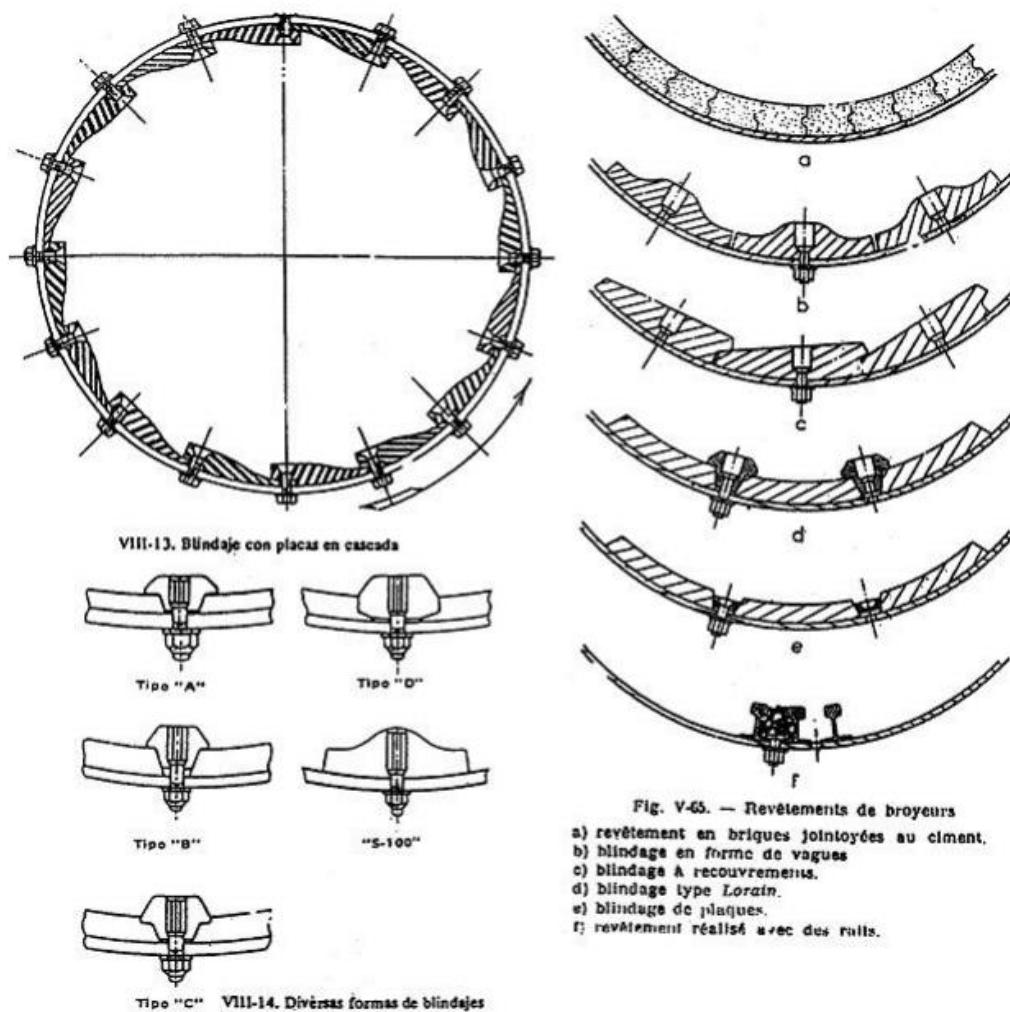
**Figura N°73:** *Molino de bolas outotec de 24'x36'.*



**Fuente:** <https://www.metso.com/es/portafolio/molinos-de-bolas/>

<https://www.youtube.com/watch?v=Zpsk092sga4&t=20s>

Figura N°74: Tipos de revestimiento interno para un molino de bolas.

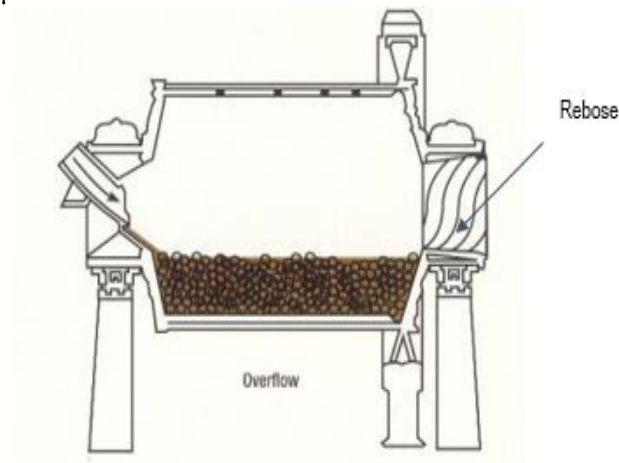


Fuente: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/8.\\_molie\\_nda.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/8._molie_nda.pdf)

## 6. Tipos de descarga de un molino de bolas

### 6.1. Molino de bolas por rebose

Se emplean en moliendas muy finas con tamaños de alimentación entre 10 - 15 mm y para obtener una granulometría de mineral comprendida entre 0 - 30  $\mu\text{m}$  y 0 - 200  $\mu\text{m}$ .

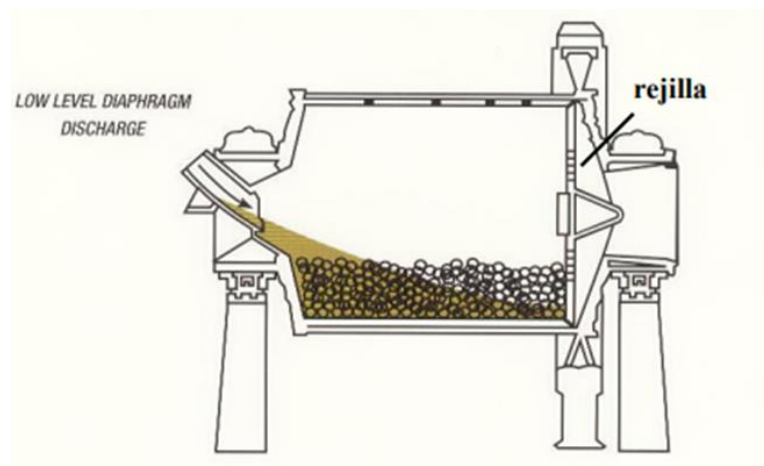


**Figura N°75:** Molino de bolas de descarga por rebose.

**Fuente:** Cortesía de Nordberg

### 6.2. Molino de bolas de descarga por rejilla

Se emplean para moliendas gruesas de 60 - 80  $\mu\text{m}$ , con tamaños de alimentación de hasta 50 mm.



**Figura N°76:** Molino de bolas de descarga por rejilla.

**Fuente:** Cortesía de Nordberg

## 7. Tipos de materiales para revestimientos internos de un molino de bolas

Revestimientos ELASTEC para Molinos de bolas

### ELEMENTOS DEL REVESTIMIENTO

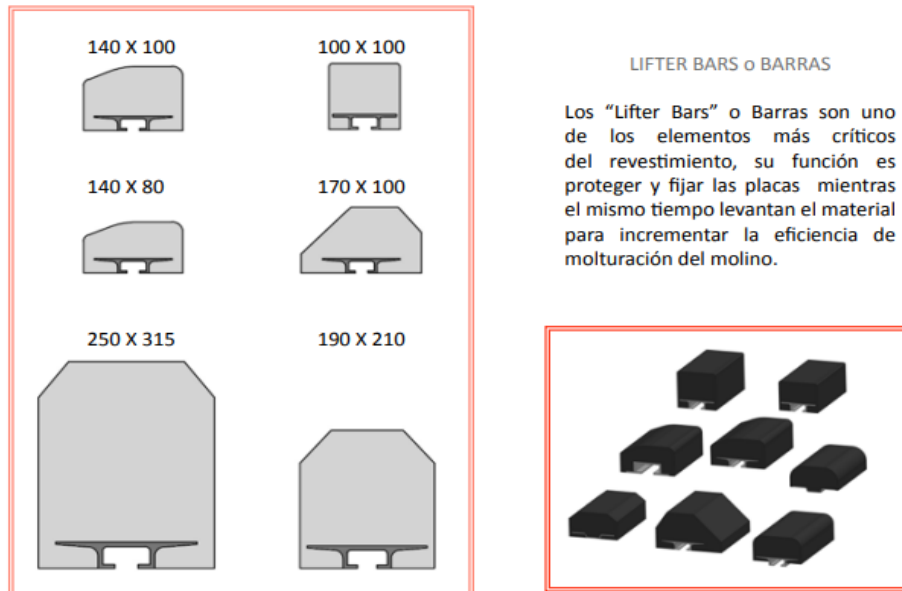


Figura N°77: Composición de revestimientos para el cuerpo de un molino bolas.

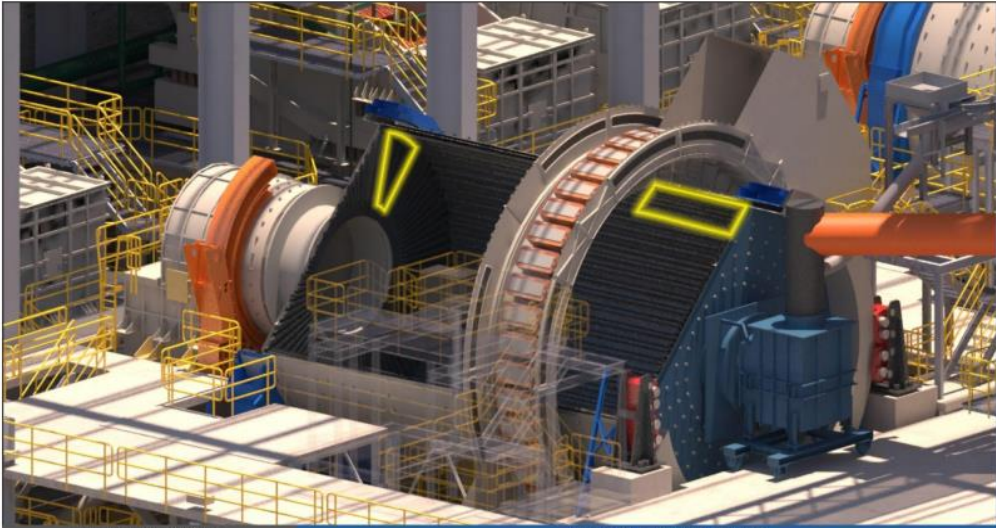












































































































































Fuente: <https://elastec.es/files/Ceramica%202015%20SPA%20Small.pdf>



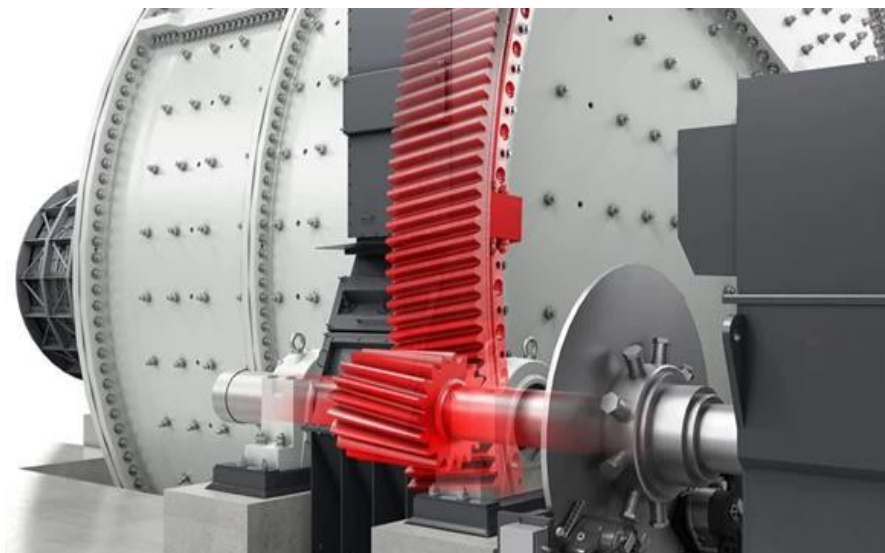
## 8.Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro – PETS

*Colocación de revestimientos interno en un molino de bolas.*

PETS																																					
CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS																																					
																																					
<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">MANTENIMIENTO MECÁNICO</td> <td style="text-align: center;">EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL</td> </tr> <tr> <td>           DURACIÓN            CANT. PERSONAL            FRECUENCIA         </td> <td> <table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CASCO DE SEGURIDAD CON SOMBREADO</td> <td>LENTES DE SEGURIDAD</td> <td>PROTECTOR AUDITIVO</td> <td>RESPIRADOR ANTIPOLVO</td> <td>GUANTES DE CUERO</td> <td>GUANTES DE NITRIL</td> <td>CHALECO DE SEGURIDAD</td> <td>ROPA DE TRABAJO</td> <td>ZAPATOS DE SEGURIDAD</td> <td>TRAJE PARA SOLDAR</td> <td>MASCARA DE SOLDAR</td> <td>GAFETA PAJAL</td> <td>MARTELUCO DESCARTABLE</td> <td>ATROPELLAMIENTO</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">RIESGOS ASOCIADOS</td> </tr> <tr> <td>                  </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>		MANTENIMIENTO MECÁNICO	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	DURACIÓN CANT. PERSONAL FRECUENCIA	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CASCO DE SEGURIDAD CON SOMBREADO</td> <td>LENTES DE SEGURIDAD</td> <td>PROTECTOR AUDITIVO</td> <td>RESPIRADOR ANTIPOLVO</td> <td>GUANTES DE CUERO</td> <td>GUANTES DE NITRIL</td> <td>CHALECO DE SEGURIDAD</td> <td>ROPA DE TRABAJO</td> <td>ZAPATOS DE SEGURIDAD</td> <td>TRAJE PARA SOLDAR</td> <td>MASCARA DE SOLDAR</td> <td>GAFETA PAJAL</td> <td>MARTELUCO DESCARTABLE</td> <td>ATROPELLAMIENTO</td> </tr> </table>															CASCO DE SEGURIDAD CON SOMBREADO	LENTES DE SEGURIDAD	PROTECTOR AUDITIVO	RESPIRADOR ANTIPOLVO	GUANTES DE CUERO	GUANTES DE NITRIL	CHALECO DE SEGURIDAD	ROPA DE TRABAJO	ZAPATOS DE SEGURIDAD	TRAJE PARA SOLDAR	MASCARA DE SOLDAR	GAFETA PAJAL	MARTELUCO DESCARTABLE	ATROPELLAMIENTO	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">RIESGOS ASOCIADOS</td> </tr> <tr> <td>                  </td> </tr> </table>		RIESGOS ASOCIADOS	        
MANTENIMIENTO MECÁNICO	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL																																				
DURACIÓN CANT. PERSONAL FRECUENCIA	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CASCO DE SEGURIDAD CON SOMBREADO</td> <td>LENTES DE SEGURIDAD</td> <td>PROTECTOR AUDITIVO</td> <td>RESPIRADOR ANTIPOLVO</td> <td>GUANTES DE CUERO</td> <td>GUANTES DE NITRIL</td> <td>CHALECO DE SEGURIDAD</td> <td>ROPA DE TRABAJO</td> <td>ZAPATOS DE SEGURIDAD</td> <td>TRAJE PARA SOLDAR</td> <td>MASCARA DE SOLDAR</td> <td>GAFETA PAJAL</td> <td>MARTELUCO DESCARTABLE</td> <td>ATROPELLAMIENTO</td> </tr> </table>															CASCO DE SEGURIDAD CON SOMBREADO	LENTES DE SEGURIDAD	PROTECTOR AUDITIVO	RESPIRADOR ANTIPOLVO	GUANTES DE CUERO	GUANTES DE NITRIL	CHALECO DE SEGURIDAD	ROPA DE TRABAJO	ZAPATOS DE SEGURIDAD	TRAJE PARA SOLDAR	MASCARA DE SOLDAR	GAFETA PAJAL	MARTELUCO DESCARTABLE	ATROPELLAMIENTO								
																																					
CASCO DE SEGURIDAD CON SOMBREADO	LENTES DE SEGURIDAD	PROTECTOR AUDITIVO	RESPIRADOR ANTIPOLVO	GUANTES DE CUERO	GUANTES DE NITRIL	CHALECO DE SEGURIDAD	ROPA DE TRABAJO	ZAPATOS DE SEGURIDAD	TRAJE PARA SOLDAR	MASCARA DE SOLDAR	GAFETA PAJAL	MARTELUCO DESCARTABLE	ATROPELLAMIENTO																								
<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">RIESGOS ASOCIADOS</td> </tr> <tr> <td>                  </td> </tr> </table>		RIESGOS ASOCIADOS	        																																		
RIESGOS ASOCIADOS																																					
        																																					

Fuente: [file:///C:/Users/USER/Downloads/scribd.vdownloaders.com\\_cambio-revestimientos-mb.pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/scribd.vdownloaders.com_cambio-revestimientos-mb.pdf)

Figura N°78: Corona – piñón del molino de bolas outotec de 24'x36'.



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>



**Figura N°79:** Cojinetes de zapatas hidrostática del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

**Figura N°80:** Cojinete principal del molino de bolas outotec de 24'x36'.



**Fuente:** <https://www.metso.com/products-and-services/parts/grinding-mill-parts/>

**Figura N°81:** *Instalación y fijación manual de pernos avellanadas del molino de bolas outotec 24'x36'.*

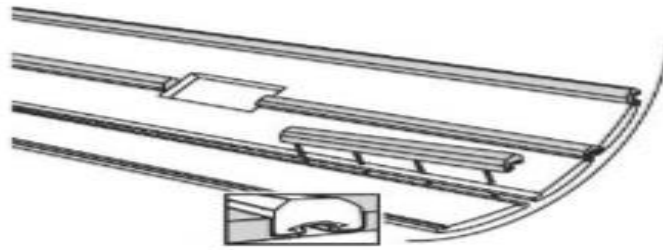


Fig. 27 Instalación del revestimiento del cilindro



Fig. 28 Sistema de fijación con "clamp blocks"



Fig. 29 Sistema de fijación alternativo con pernos T

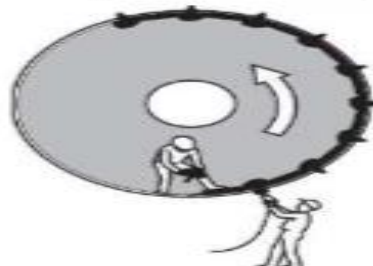
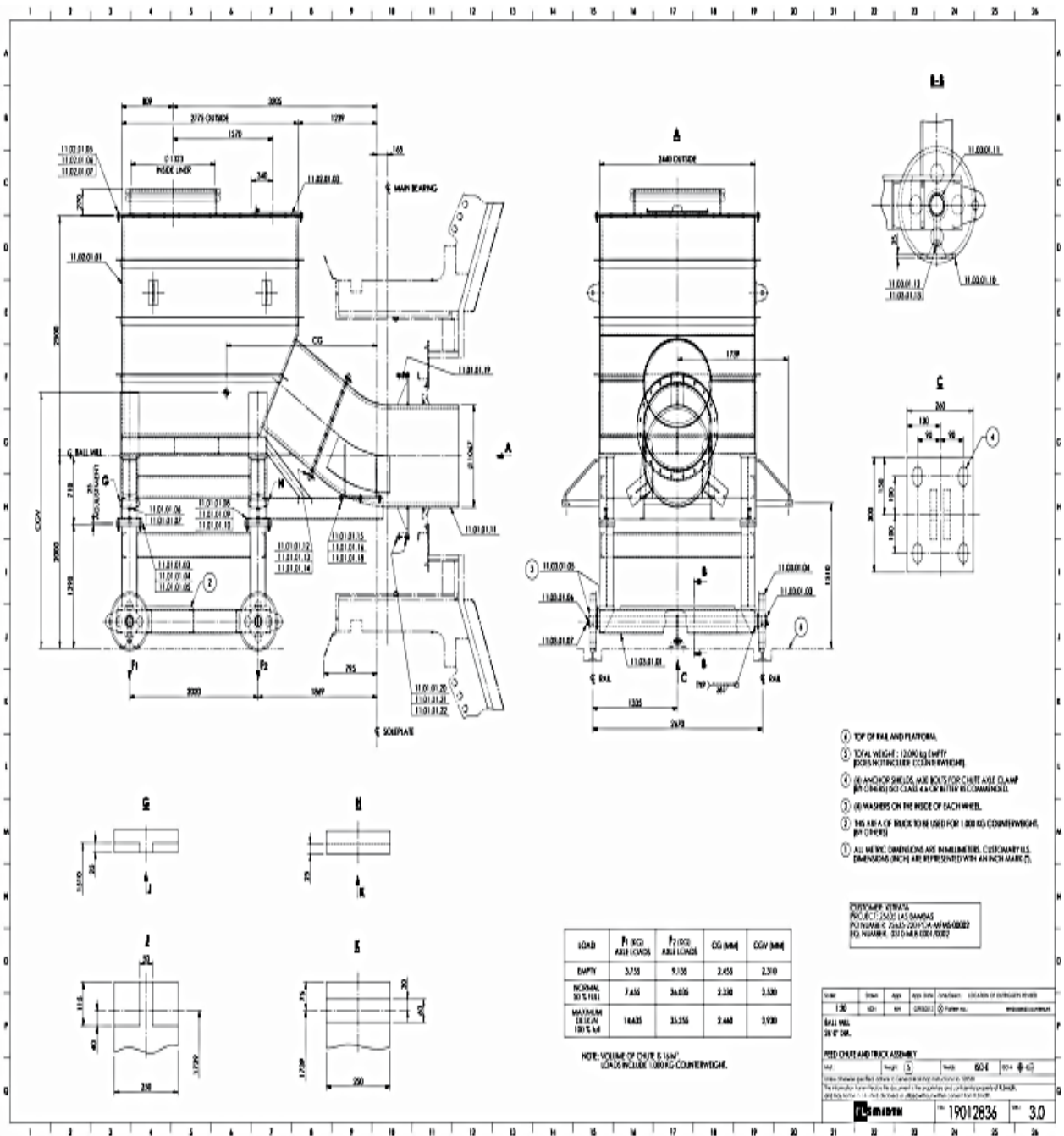


Fig. 30 Instalación de filas sucesivas de corzas de cilindro y Lifters

**Fuente:** [https://kupdf.net/download/installation-manual-spanish-metso\\_5afa0710e2b6f5732326d8ee\\_pdf](https://kupdf.net/download/installation-manual-spanish-metso_5afa0710e2b6f5732326d8ee_pdf)

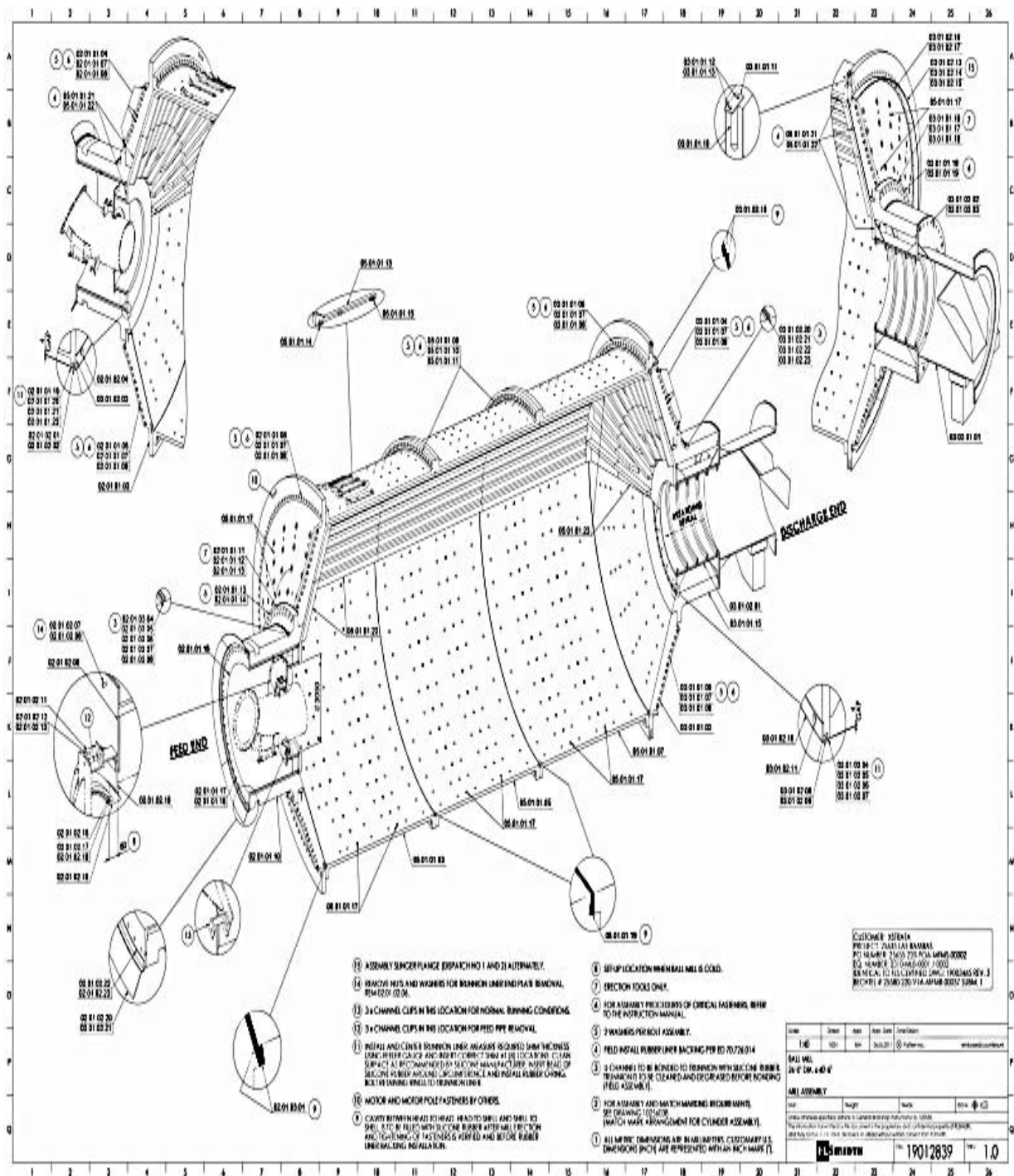
Figura N°82: Plano de montaje Spout feeder del molino de bolas outotec

24'x36'



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

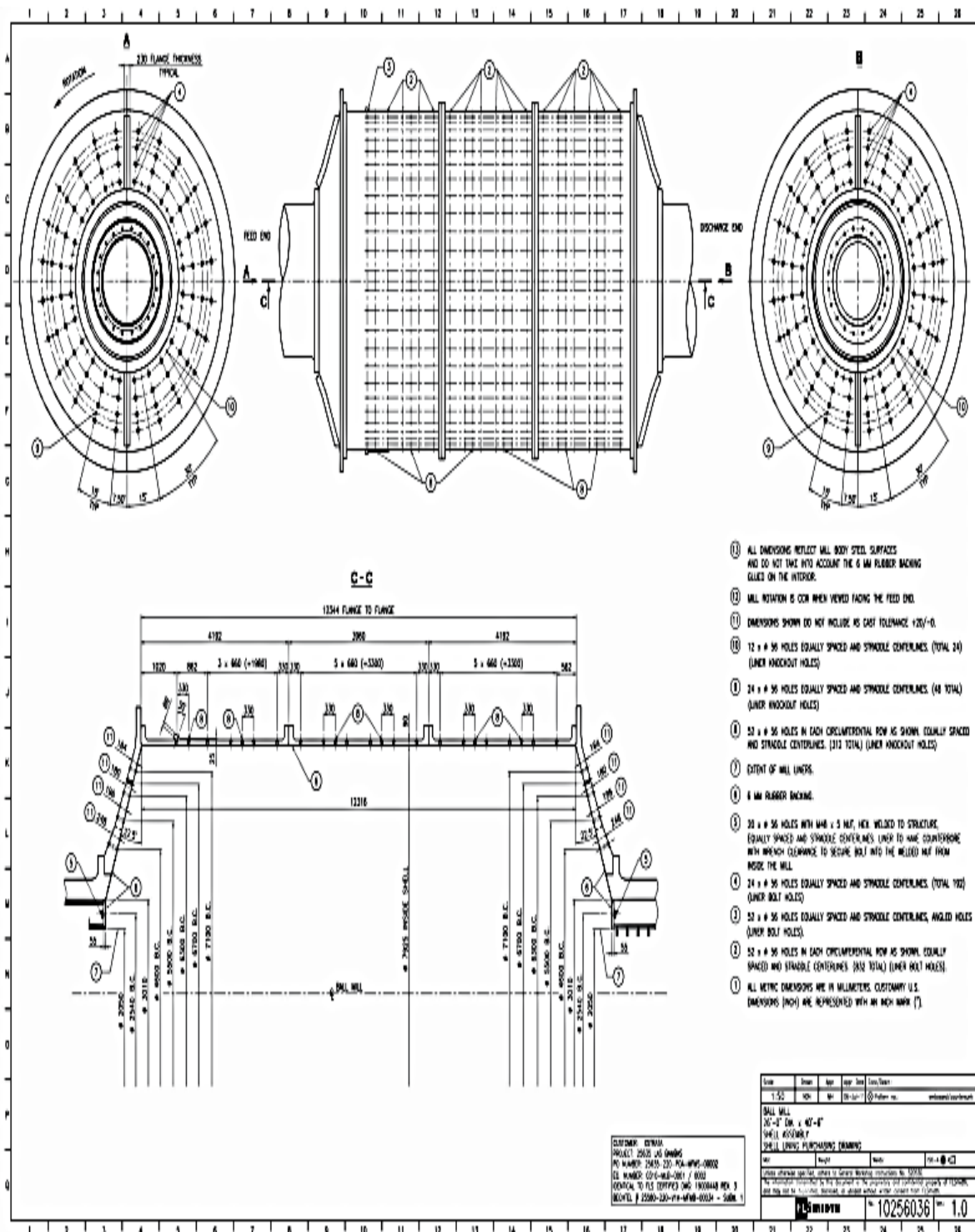
Figura N°83: Plano de montaje componentes principales del molino de bolas outotec 24'x36'.



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

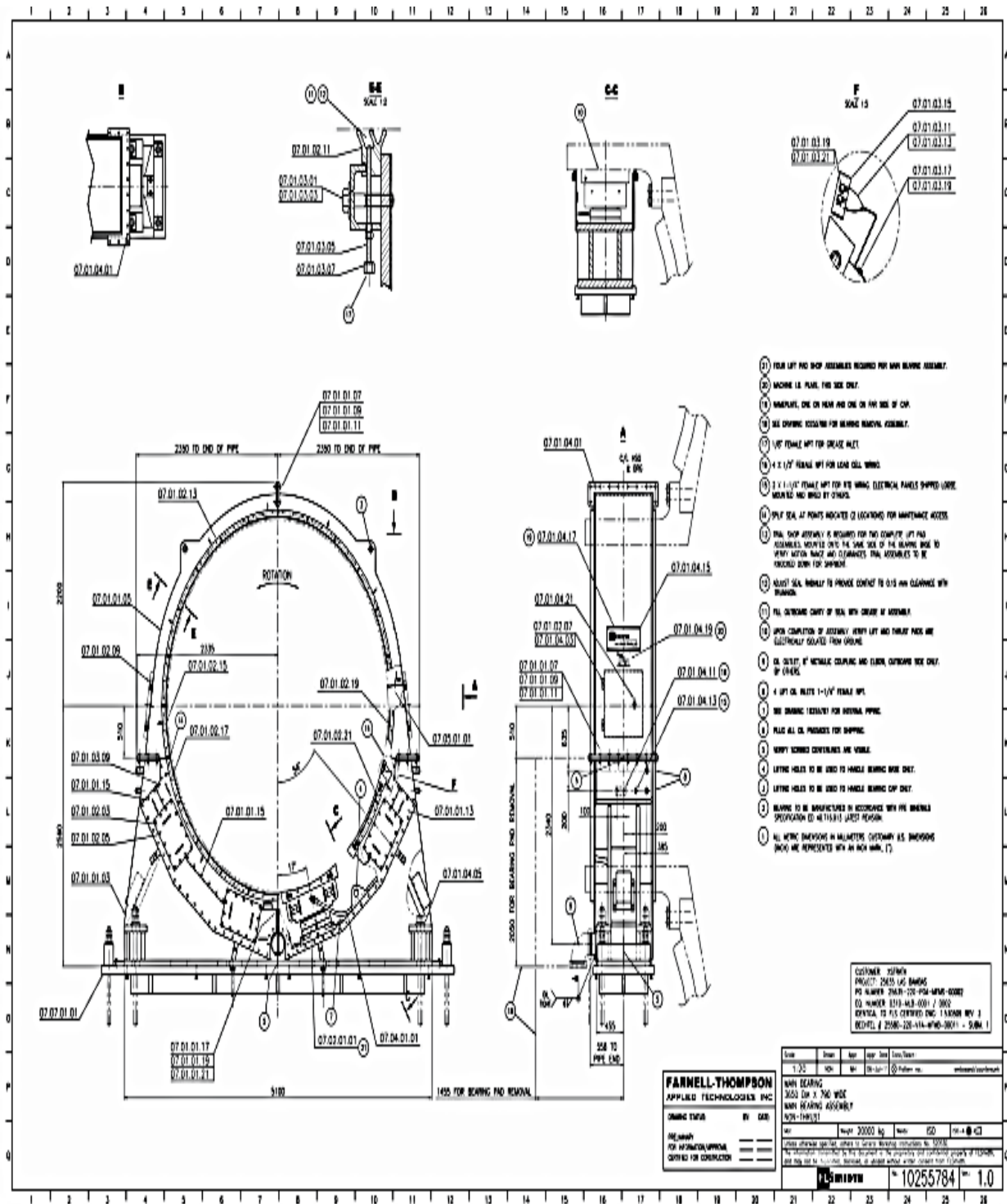


Figura N°84: Plano de montaje de revestimiento interno del molino de bolas outotec 24'x36'.



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>

Figura N°85: Plano de montaje de cojinetes y zapatas hidrostáticas del molino de bolas outotec 24'x36'.



Fuente: <https://www.metso.com/portfolio/premier-mills/>