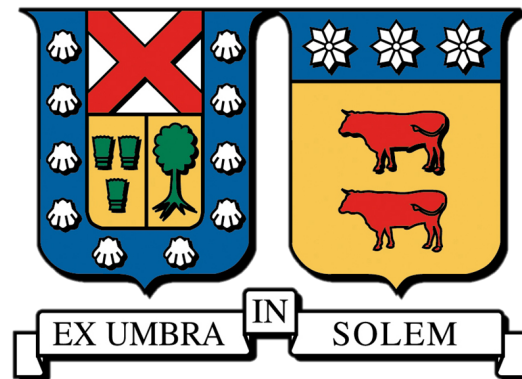


# UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO-CHILE



”Estudio de factibilidad para implementar un procedimiento estandarizado en el cambio de revestimiento de un molino SAG, en base a métodos Lean y un modelo de gestión de activos y mantenimiento”

**RENATO FRANCISCO LUCIC GONZÁLEZ**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

Profesor guía: René Valdenegro Oyaneder

Profesor correferente: Andrés Bregante Bacelli

Marzo-2024

# Resumen Ejecutivo

El siguiente trabajo de título se llevó a cabo en Minera Los Pelambres, Chile, por encargo de la Gerencia de Excelencia Operacional de Antofagasta Minerals S.A., con el propósito de impulsar su eficiencia y competitividad en la industria minera. Particularmente, aborda el estudio de la factibilidad de implementar un procedimiento estandarizado en el cambio de revestimiento de un molino SAG, basado en enfoques Lean y en un modelo de gestión de activos y mantenimiento.

La metodología utilizada se basa en el modelo de gestión de activos y mantenimiento, estableciendo una conexión directa entre los objetivos empresariales y el mantenimiento de equipos críticos. En este contexto, se incorpora la herramienta de trabajo estandarizado de 5 pasos en el proceso de cambio de revestimientos del molino SAG, la aplicación de esta metodología por lo tanto se inicia con la captura de la actividad, para posteriormente realizar su análisis, generar el estándar, realizar la aplicación de este y finalmente, su iteración para la mejora continua.

El análisis se centra en el proceso de cambio de revestimientos del molino SAG, desde la extracción del chute de alimentación hasta su reintegración, identificando aspectos de valor, eliminando fuentes de desperdicio y abordando variaciones en la ejecución de la actividad.

Al aplicar la metodología, los resultados obtenidos muestran un aumento del 0,86% en la disponibilidad de los molinos SAG, la mitigación de riesgo asociados al trabajo en altura dentro del molino y una notable disminución de 225,95 [hr] dedicado a actividades que no agregaban valor en el mantenimiento. Las intervenciones en el proceso generaron un aumento total de 75,32 [h] planta, procesamiento adicional de 549.709 [ton] de material y un aumento en la producción de 3.148,86 [ton] de cobre, durante el año 2023. Esto representa un porcentaje de cumplimiento de un 90,74% respecto al caso de negocio planteado y un EBITDA de 19,18 [MUSD] para el año 2023.

Este trabajo expone la eficacia de la aplicación de la herramienta Lean Management para mejorar la disponibilidad y la rentabilidad en equipos destinados a operaciones mineras sensibles, agregando valor a la búsqueda de eficiencia en el mantenimiento de equipos para aumentar la competitividad en la industria.

# Abstract

The following thesis work was carried out at Minera Los Pelambres, Chile, commissioned by the operational excellence management of Antofagasta Minerals S.A., with the aim of boosting its efficiency and competitiveness in the mining industry. Specifically, it addresses the feasibility study of implementing a standardized procedure for changing the lining of a SAG mill, based on Lean approaches and an asset and maintenance management model.

The methodology used is based on the asset and maintenance management model, establishing a direct connection between business objectives and the maintenance of critical equipment. In this context, the 5-step standardized work tool is incorporated into the SAG mill lining change process. The application of this methodology begins with capturing the activity, followed by its analysis, standard generation, application, and finally, iteration for continuous improvement.

The analysis focuses on the SAG mill lining change process, from the extraction of the feed chute to its reintegration, identifying value aspects, eliminating sources of waste, and addressing variations in activity execution.

When applying the methodology, the results show a 0.86% increase in SAG mill availability, the mitigation of risks associated with working at heights inside the mill, and a significant reduction of 225.95 [hr] dedicated to non-value-added maintenance activities. Interventions in the process generated a total increase of 75.32 plant hours, additional processing of 549,709 [ton] of material, and an increase in copper production of 3,148.86 [ton] during the year 2023. This represents a fulfillment percentage of 90.74% regarding the proposed business case and an EBITDA of 19.18 [MUSD] for the year 2023.

This work highlights the effectiveness of applying Lean Management tools to improve availability and profitability in equipment dedicated to sensitive mining operations, adding value to the pursuit of efficiency in equipment maintenance to increase competitiveness in the industry.

# Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a minera Los Pelambres por haberme dado esta gran oportunidad, especialmente al equipo de Excelencia Operacional quienes depositaron su confianza en mí (Valentina, Lorena, Marcela, Patricio), al equipo de ejecución mecánica, planificación, confiabilidad en el área de molienda primaria. Por último al equipo técnico quienes participaron y con quienes compartí en esta oportunidad (Ignacio, Samuel y Mirna).

Agradezco a mis profesores, quienes me ayudaron, depositaron confianza y me aportaron en el desarrollo de mi vida universitaria, sobre todo en este último período (René y Andrés). De forma especial, quiero mencionar a Jorge Ponce, quién fue un gran apoyo y ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos que formé durante este período universitario, quienes puedo decir que son los mejores y que no los cambiaría por nada en el mundo. Son y siempre serán un pilar fundamental en mi vida y que nunca falte nuestra amistad. En orden alfabético, Bryan, Camila, Deborah, Eduardo, Katalina, Marko, Martin, Salvador, Vicente, sin ustedes nada de esto hubiese pasado. Muchas gracias amigos y para mí siempre serán eternos.

Agradecer a Arli, quién pudo observar más de cerca esta etapa y quién me entregó todo su apoyo, amor y cariño incondicional. Gracias por siempre escucharme y por ser la persona con quién comparto bonitos momentos.

Por último y más importante, a toda mi familia, quienes siempre me cuidan desde esta vida terrenal, como en otra vida. A mi mamá (Valeria), papá (Alexis) y hermana (Valentina). Las palabras no me alcanzan para describir todo lo que hacen por mí. Tampoco sé cómo devolverles todo lo que me brindan, me faltarían vidas para aquello. Ustedes son mi cable a tierra, mi hogar. Todo esto es gracias a ustedes, mi inspiración, mis logros, mi vida entera. Los amo mucho, de aquí hasta el infinito.

# Glosario

- PM02: Mantenimiento planificado.
- PM03: Mantenimiento no planificado.
- OT: Órdenes de Trabajo.
- STMG: Sistema de Transporte de Mineral Grueso.
- AMSA: Antofagasta Minerals S.A.
- MLP: Minera Los Pelambres.
- EIA: Estudio de Impacto Ambiental.
- E.E.C.C.: Empresas Contratistas.
- Lay-out: representación de un plano sobre el cual se va a dibujar la distribución de un espacio específico o determinado.
- MM: Mantenimiento Mayor.
- KPI: "Key Performance Indicator", corresponde a un indicador o medidor de desempeño.
- HSEC: Modelo de gestión integrado, el cual involucra la Salud (Health), Seguridad (Security), Medio Ambiente (Environment) y Comunidad (Community).
- EBITDA: Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización (Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization).
- Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos (SAP): Es un software empresarial que integra procesos internos de una organización, facilitando la gestión eficiente de recursos y la toma de decisiones.
- R-MES: Software utilizado por el área de confiabilidad para determinar los kpis de confiabilidad en la empresa, para sus áreas respectivas.

# Tabla de Contenidos

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Problema de investigación . . . . .                                 | 2         |
| 1.2      | Justificación de la memoria . . . . .                               | 2         |
| 1.2.1    | Reporte Final VSM MLP . . . . .                                     | 2         |
| 1.2.2    | Análisis de candidatos para aplicar Trabajo Estandarizado . . . . . | 4         |
| 1.2.3    | Caso de negocio Trabajo Estandarizado . . . . .                     | 5         |
| 1.3      | Alcances de la memoria . . . . .                                    | 6         |
| <b>2</b> | <b>Objetivos</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1      | Objetivo general . . . . .  | 7         |
| 2.2      | Objetivos específicos . . . . .                                     | 7         |
| <b>3</b> | <b>Marco teórico</b>  | <b>8</b>  |
| 3.1      | Modelo de gestión de activos y mantenimiento . . . . .              | 8         |
| 3.2      | Confiabledad operacional . . . . .                                  | 9         |
| 3.3      | Disponibilidad . . . . .  | 9         |
| 3.4      | Integridad operacional . . . . .                                    | 10        |
| 3.5      | MTBF . . . . .  | 10        |
| 3.6      | MTTR . . . . .  | 10        |
| 3.7      | VSM . . . . .   | 11        |
| 3.8      | Metodología lean . . . . .  | 11        |
| 3.9      | Lean management . . . . .   | 11        |
| 3.10     | TPM . . . . .   | 12        |
| 3.11     | Trabajo estandarizado . . . . .                                     | 12        |
| 3.12     | Desperdicios . . . . .  | 12        |
| <b>4</b> | <b>Marco de desarrollo de objetivos específicos</b>                 | <b>14</b> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>5</b>  | <b>Identificación del contexto global y operacional</b>                     | <b>15</b> |
| 5.1       | Contexto global . . . . .   | 15        |
| 5.2       | Contexto operacional . . . . .  | 19        |
| 5.2.1     | Objetivos estratégicos . . . . .  | 20        |
| 5.2.2     | Proceso productivo . . . . .  | 20        |
| 5.2.3     | Situación actual del mantenimiento . . . . .                                | 21        |
| 5.2.4     | Sobre el molino SAG . . . . .   | 25        |
| <b>6</b>  | <b>Identificación de riesgos asociados al contexto global y operacional</b> | <b>28</b> |
| 6.1       | Contexto global . . . . .   | 28        |
| 6.1.1     | Político . . . . .  | 28        |
| 6.1.2     | Económico . . . . .   | 29        |
| 6.1.3     | Social . . . . .  | 30        |
| 6.1.4     | Tecnológico . . . . .   | 30        |
| 6.1.5     | Ambiental . . . . .   | 32        |
| 6.1.6     | Legal . . . . .   | 34        |
| 6.2       | Contexto operacional . . . . .  | 35        |
| <b>7</b>  | <b>Analizar los riesgos asociados al contexto global y operacional</b>      | <b>39</b> |
| 7.1       | Contexto global . . . . .   | 39        |
| 7.1.1     | Política . . . . .  | 39        |
| 7.1.2     | Económico . . . . .   | 40        |
| 7.1.3     | Social . . . . .  | 41        |
| 7.1.4     | Tecnológico . . . . .   | 42        |
| 7.1.5     | Ambiental . . . . .   | 43        |
| 7.1.6     | Legal . . . . .   | 44        |
| 7.2       | Contexto operacional . . . . .  | 45        |
| <b>8</b>  | <b>Evaluar y jerarquizar riesgos</b>  | <b>49</b> |
| 8.1       | Contexto global . . . . .   | 49        |
| 8.2       | Contexto operacional . . . . .  | 50        |
| <b>9</b>  | <b>Análisis de puntos débiles de equipos críticos</b>                       | <b>54</b> |
| <b>10</b> | <b>Diseño de plan de mantenimiento y recursos necesarios</b>                | <b>57</b> |
| 10.0.1    | Roles y responsabilidades . . . . .   | 57        |
| 10.0.2    | Secuencia de mantenimiento . . . . .  | 61        |
| 10.0.3    | Herramientas, equipos y recursos necesarios . . . . .                       | 63        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>11 Diseñar plan de mitigación basado en enfoques Lean en el modelo de gestión de activos y mantenimiento</b> | <b>66</b>  |
| 11.1 Identificación de las actividades de mantenimiento críticas que requieren estandarización                  | 67         |
| 11.2 Evaluación caso de negocio . . . . .   | 67         |
| 11.3 Implementación de trabajo estandarizado . . . . .  | 69         |
| 11.3.1 Paso 1: Capturar de la actividad . . . . .   | 69         |
| 11.3.2 Paso 2: Analizar la actividad- Identificar valor, desperdicio, variación y sobrecarga . . . . .          | 70         |
| 11.3.3 Paso 3: Crear estándar . . . . .   | 74         |
| 11.3.4 Paso 4: Ejecutar trabajo estandarizado . . . . .   | 75         |
| 11.3.5 Paso 5: Iterar . . . . .   | 78         |
| <b>12 Evaluación económica de los resultados</b>  | <b>87</b>  |
| 12.1 Disminución del MTTR . . . . .   | 88         |
| 12.2 Análisis de desperdicios . . . . .   | 89         |
| 12.3 Aumento de disponibilidad . . . . .  | 90         |
| 12.4 Aumento total de producción . . . . .  | 91         |
| 12.5 Análisis O.E.E. . . . .  | 93         |
| 12.6 Análisis económico . . . . .   | 93         |
| <b>13 Conclusiones y recomendaciones</b>  | <b>95</b>  |
| <b>Anexos</b>   | <b>100</b> |
| <b>A Antecedentes de la Empresa</b>   | <b>101</b> |
| A.1 Propósito, misión, visión y valores . . . . .   | 102        |
| A.2 Organigrama de la Empresa . . . . .   | 103        |
| A.3 Ubicación y Accesos . . . . .   | 105        |
| A.4 Producción . . . . .  | 105        |
| A.5 Descripción del Proceso Productivo . . . . .  | 106        |
| A.5.1 Operación Mina . . . . .  | 107        |
| A.5.2 Proceso de Molienda . . . . .   | 108        |
| A.5.3 Proceso de Flotación . . . . .  | 109        |
| A.5.4 Espesado, Filtrado y Secado . . . . .   | 110        |
| A.5.5 Tranque . . . . .   | 111        |
| A.5.6 Puerto Punta Chungo y Proceso de Filtrado . . . . .   | 112        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>B Descripción del Molino SAG</b>  | <b>114</b> |
| B.0.1 Componentes principales . . . . .  | 115        |
| B.0.2 Funcionamiento . . . . .   | 123        |
| <b>C Estado del Arte</b>   | <b>125</b> |
| C.1 Metodología Lean en la Industria Minera . . . . .  | 125        |
| C.2 Aplicabilidad de la Filosofía Lean en Minería . . . . .  | 126        |
| C.3 Estandarización de Procesos . . . . .  | 127        |
| C.4 Benchmark . . . . .  | 129        |
| C.4.1 BHP . . . . .  | 129        |
| C.4.2 Teck . . . . .   | 130        |
| C.4.3 Codelco . . . . .  | 131        |
| <b>D Marco Teórico</b>   | <b>133</b> |
| D.1 Modelo de gestión de activos y mantenimiento . . . . .   | 133        |
| D.1.1 Etapa 1: Establecer los propósitos de la empresa . . . . .                                       | 134        |
| D.1.2 Etapa 2: Análisis de la situación actual . . . . .   | 134        |
| D.1.3 Etapa 3: Jerarquización de equipos . . . . .   | 134        |
| D.1.4 Etapa 4: Análisis de punto débiles de equipos de alto impacto . . . . .                          | 135        |
| D.1.5 Etapa 5: Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios . . . . .                       | 135        |
| D.1.6 Etapa 6: Programación del mantenimiento y optimización en la asignación<br>de recursos . . . . . | 136        |
| D.1.7 Etapa 7: Ingeniería de mantenimiento . . . . .   | 136        |
| D.1.8 Etapa 8: Análisis del ciclo de vida del activo . . . . .   | 137        |
| D.2 Confiabilidad operacional . . . . .  | 137        |
| D.2.1 Confiabilidad en procesos . . . . .  | 140        |
| D.2.2 Confiabilidad en el equipo . . . . .   | 140        |
| D.2.3 Mantenibilidad de equipos . . . . .  | 140        |
| D.2.4 Confiabilidad humana . . . . .   | 141        |
| D.3 Disponibilidad . . . . .   | 141        |
| D.4 Nivel de confiabilidad óptimo . . . . .  | 142        |
| D.5 Integridad operacional . . . . .   | 143        |
| D.6 Mean Time Between Failure (MTBF) . . . . .   | 145        |
| D.7 Mean Time To Failure (MTTF) . . . . .  | 145        |
| D.8 Mean Time To Repair (MTTR) . . . . .   | 145        |
| D.8.1 Mantenimiento preventivo . . . . .   | 146        |
| D.8.2 Mantenimiento Correctivo . . . . .   | 146        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| D.8.3    | Mantenimiento Predictivo . . . . .                   | 147        |
| D.9      | Mapa de Flujo de Valor (VSM) . . . . .               | 147        |
| D.10     | Metodología Lean . . . . .                           | 148        |
| D.11     | Lean Management . . . . .                            | 149        |
| D.12     | TPM . . . . .  | 151        |
| D.13     | Trabajo Estandarizado . . . . .                      | 152        |
| D.13.1   | Captura de la actividad . . . . .                    | 153        |
| D.13.2   | Análisis de la actividad . . . . .                   | 154        |
| D.13.3   | Creación del estándar . . . . .                      | 156        |
| D.13.4   | Ejecución del estándar . . . . .                     | 157        |
| D.13.5   | Iteración . . . . .                                  | 157        |
| D.14     | Tipos de Desperdicios . . . . .                      | 158        |
| D.14.1   | MUDA . . . . .                                       | 158        |
| D.14.2   | MURA . . . . .                                       | 160        |
| D.14.3   | MURI . . . . .                                       | 160        |
| D.15     | Análisis PESTAL . . . . .                            | 161        |
| D.16     | Análisis FODA . . . . .                              | 161        |
| D.17     | Análisis de Pareto . . . . .                         | 162        |
| D.18     | Análisis de Causa-Raíz . . . . .                     | 163        |
| D.19     | Las 6M . . . . .                                     | 164        |
| <b>E</b> | <b>Detalle desperdicios MM julio L2</b>              | <b>165</b> |
| <b>F</b> | <b>Detalle desperdicios MM agosto L1</b>             | <b>167</b> |
| <b>G</b> | <b>Detalle desperdicios MM septiembre L3</b>         | <b>168</b> |
| <b>H</b> | <b>Equipos extremadamente críticos área molienda</b> | <b>169</b> |
| <b>I</b> | <b>Estándar General</b>                              | <b>170</b> |
| <b>J</b> | <b>Estándar Por Rol: Mecánico</b>                    | <b>208</b> |

# Lista de Tablas

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7.1  | Impacto en proyecto y operaciones (Pelambres, 2023).        | 45  |
| 7.2  | Impacto a seguridad y salud ocupacional (Pelambres, 2023).  | 46  |
| 7.3  | Impacto a medio ambiente (Pelambres, 2023).                 | 46  |
| 7.4  | Impacto a comunidades (Pelambres, 2023).                    | 47  |
| 7.5  | Impactos legales (Pelambres, 2023).                         | 47  |
| 7.6  | Impacto a reputación (Pelambres, 2023).                     | 48  |
| 7.7  | Probabilidad (Pelambres, 2023).                             | 48  |
| 10.1 | Elementos de Protección Personal Básicos (FLS, 2023).       | 64  |
| 10.2 | Equipos, herramientas y consumibles requeridos (FLS, 2023). | 65  |
| 12.1 | Metas cambio de revestimiento molinos SAG.                  | 87  |
| 12.2 | Aumento de producción MLP.                                  | 92  |
| 12.3 | EBITDA área molienda en USD                                 | 94  |
| B.1  | Especificaciones generales del molino SAG.                  | 115 |
| B.2  | Lista de componentes externos principales del molino SAG    | 116 |
| B.3  | Lista de componentes internos principales del molino SAG    | 116 |
| B.4  | Componentes principales del cuerpo del molino SAG           | 117 |
| B.5  | Componentes principales del cojinete fijo del molino SAG    | 119 |
| B.6  | Componentes principales del cojinete móvil del molino SAG   | 120 |
| B.7  | Componentes principales del cojinete móvil del molino SAG   | 121 |
| B.8  | Componentes principales del trommel del molino SAG          | 121 |
| B.9  | Componentes principales del motor-anillo del molino SAG     | 122 |

# Lista de Figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Análisis de cuellos de botella proceso productivo MLP (Pelambres, 2023) . . . . .                   | 3  |
| 1.2  | Cuellos de botella planta concentradora (Pelambres, 2023). . . . .                                  | 3  |
| 1.3  | Datos Órdenes de Trabajo Pelambres (2023). . . . .  | 4  |
| 1.4  | Distribución de trabajos por equipo STMG y planta concentradora (Pelambres, 2023). . . . .          | 5  |
| 5.1  | Ranking de los principales países productores de cobre a nivel mundial 2023 (Minero, 2023). . . . . | 15 |
| 5.2  | PIB del sector minero y su participación en el PIB nacional (Minero, 2023). . . . .                 | 16 |
| 5.3  | Exportaciones mineras y participación en el total (Minero, 2023). . . . .                           | 16 |
| 5.4  | Consumo mundial de cobre (Minero, 2023) . . . . .   | 17 |
| 5.5  | Participación en el empleo del país (Minero, 2023). . . . .   | 17 |
| 5.6  | Inversión de la gran minería y participación en el total del país (Minero, 2023). . . . .           | 18 |
| 5.7  | Cartera de proyectos mineros (Minero, 2023). . . . .  | 18 |
| 5.8  | Proceso productivo (Pelambres, 2023). . . . .   | 21 |
| 5.9  | Plan de producción MLP 2023 (elaboración propia). . . . .   | 22 |
| 5.10 | Disponibilidad del activo molienda en planta concentradora (Cochilco, 2022). . . . .                | 23 |
| 5.11 | Benchmark cambio de revestimientos molinos SAG (Pelambres, 2023). . . . .                           | 26 |
| 5.12 | Movimientos/hora cambio de revestimientos molinos SAG (Pelambres, 2023). . . . .                    | 27 |
| 6.1  | Consumo mundial de cobre (Minero, 2023). . . . .  | 29 |
| 6.3  | Tasa de innovación por sector económico (Minero, 2023). . . . .                                     | 31 |
| 6.2  | Gastos I+D por actividad económica (Minero, 2023). . . . .  | 31 |
| 6.4  | Extracciones de agua de fuentes continentales en la minería del cobre (Minero, 2023). . . . .       | 32 |
| 6.5  | Uso de agua de mar en la minería del cobre (Minero, 2023). . . . .                                  | 33 |
| 6.6  | Reutilización, reciclaje y/o recirculación de agua en la minería del cobre (Minero, 2023). . . . .  | 33 |
| 6.7  | Emisiones directas de gases efecto invernadero en la minería del cobre (Minero, 2023). . . . .      | 34 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.8   | Distribución equipos planta concentradora Minera Los Pelambres 2022 (Pelambres, 2023).  | 35  |
| 8.1   | Matriz de clasificación de riesgos (Pelambres, 2023).   | 50  |
| 8.2   | Resumen de equipos críticos (Pelambres, 2023).  | 51  |
| 8.3   | Diagrama de Ishikawa (elaboración propia).  | 53  |
| 9.1   | Análisis de Pareto modos de falla 2022 (Pelambres, 2023).   | 55  |
| 11.1  | Caso de negocio trabajo estandarizado en cambio de revestimiento SAG (Pelambres, 2023).   | 68  |
| 11.2  | Plan de implementación de trabajo estandarizado (Pelambres, 2023).  | 69  |
| 11.3  | Pasos para implementación de trabajo estandarizado (Pelambres, 2023).   | 69  |
| 11.4  | Equipo de filmación en captura de actividad.  | 70  |
| 11.5  | Rotafolio de taller de análisis (Pelambres, 2023).  | 71  |
| 11.6  | Análisis de distribución de desperdicios (Captura de la actividad).   | 72  |
| 11.7  | Acciones relativas a las oportunidades de mejora (paso 1 y 2).  | 73  |
| 11.8  | Análisis de distribución de desperdicios (Ejecución).   | 75  |
| 11.9  | Participación día cero MLP y E.E.C.C.   | 77  |
| 11.10 | Acciones relativas a las oportunidades de mejora (ejecución).   | 78  |
| 11.11 | Análisis de distribución de desperdicios (Iteración 1).   | 79  |
| 11.12 | Layout Planta MM julio L2.  | 80  |
| 11.13 | Mejoras realizadas en la etapa de ejecución.  | 81  |
| 11.14 | Pizarra de Trabajo Estandarizado.   | 81  |
| 11.15 | Estándar de colores para giros.   | 82  |
| 11.16 | Acciones relativas a las oportunidades de mejora (iteración 1).   | 82  |
| 11.17 | Análisis de distribución de desperdicios (Iteración 2).   | 83  |
| 11.18 | Layout Planta MM septiembre L3 (Pelambres, 2023).   | 84  |
| 11.19 | Modificación de andamios.   | 85  |
| 11.20 | Acciones relativas a las oportunidades de mejora (iteración 2).   | 86  |
| 12.1  | Análisis de tiempos cambio de revestimientos molinos SAG.   | 88  |
| 12.2  | Análisis de desperdicios: Se clasifican en verde (aporte de valor), amarillo (tiempo habilitador de valor) y rojo (desperdicios). | 89  |
| 12.3  | Evolución de aumento de disponibilidad.   | 91  |
| A.1   | Divisiones de Antofagasta Minerals (elaboración propia).  | 103 |
| A.2   | Estructura organizacional gerencias MLP (elaboración propia).   | 104 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| A.3  | Estructura organizacional gerencia de excelencia operacional (elaboración propia). | 104 |
| A.4  | Ubicación Minera Los Pelambres (Pelambres, 2023).                                  | 105 |
| A.5  | Resultados de producción MLP (PLC, 2022).  | 106 |
| A.6  | Diagrama de flujo general Minera Los Pelambres (Pelambres, 2023).                  | 107 |
| A.7  | Diagrama de flujo sector mina Los Pelambres (Pelambres, 2023).                     | 108 |
| A.8  | Diagrama de flujo flotación colectiva (Pelambres, 2023).                           | 110 |
| A.9  | Diagrama de flujo planta colectiva (Pelambres, 2023).                              | 111 |
| A.10 | Tranque El Mauro minera Los Pelambres (Pelambres, 2023).                           | 112 |
| A.11 | Puerto Punta Chungo (Pelambres, 2023).   | 113 |
|      |  |     |
| B.1  | Molino SAG MLP (Pelambres, 2023).  | 114 |
| B.2  | Componentes externos principales del molino SAG (Pelambres, 2023).                 | 115 |
| B.3  | Componentes internos principales del molino SAG (Pelambres, 2023).                 | 116 |
| B.4  | Cuerpo del molino SAG (Pelambres, 2023).   | 117 |
| B.5  | Cojinete fijo del molino SAG (Pelambres, 2023).                                    | 119 |
| B.6  | Cojinete móvil del molino SAG (Pelambres, 2023).                                   | 119 |
| B.7  | Almohadilla de levantamiento del molino SAG (Pelambres, 2023).                     | 120 |
| B.8  | Trommel del molino SAG (Pelambres, 2023).  | 121 |
| B.9  | Motor-anillo del molino SAG (Pelambres, 2023).                                     | 122 |
| B.10 | Chute de alimentación del molino SAG (Pelambres, 2023).                            | 123 |
| B.11 | Interior de un molino SAG (Pelambres, 2023).                                       | 123 |
| B.12 | Deficiencias del molino SAG (Pelambres, 2023).                                     | 124 |
|      |  |     |
| C.1  | Excelencia operacional C+ (Codelco, 2019).   | 132 |
|      |  |     |
| D.1  | Modelo de Gestión de Activos y Mantenimiento (elaboración propia).                 | 133 |
| D.2  | Ciclo de trabajo del mantenimiento (elaboración propia).                           | 137 |
| D.3  | Ciclo de vida de un equipo (Arata, 2009).  | 139 |
| D.4  | Pilares de la confiabilidad operacional (elaboración propia).                      | 139 |
| D.5  | Curva de confiabilidad vs Costos (Arata, 2009).                                    | 142 |
| D.6  | Costos vs Confiabilidad (Valdenegro, 2023).  | 143 |
| D.7  | Pilares de la Integridad Operacional (elaboración propia).                         | 144 |
| D.8  | Templo Lean (Wijaya et al., 2009).   | 150 |
| D.9  | Objetivos y herramientas Lean Management (Pelambres, 2023).                        | 151 |
| D.10 | Principales pilares del trabajo estandarizado (Pelambres, 2023).                   | 153 |
| D.11 | Objetivo del Trabajo Estandarizado (elaboración propia).                           | 153 |
| D.12 | 8 desperdicios (Pelambres, 2023).  | 160 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| E.1 | Horas por desperdicios julio L2 (parte 1).        | 165 |
| E.2 | Horas por desperdicios julio L2 (parte 2).        | 166 |
| F.1 | Horas por desperdicios agosto L1.                 | 167 |
| G.1 | Horas por desperdicios septiembre L3.             | 168 |
| H.1 | Equipos críticos área molienda (Pelambres, 2023). | 169 |

# Capítulo 1

## Introducción

La minería en Chile ha sido durante mucho tiempo un pilar fundamental de la economía nacional, desempeñando un papel crucial en la producción de minerales esenciales a nivel mundial. Desde la extracción de cobre hasta la explotación de minerales preciosos y estratégicos, Chile ha mantenido una presencia destacada en el escenario global de la industria minera.

Sin embargo, la industria minera chilena se enfrenta a desafíos significativos para mantener su competitividad y eficiencia en un entorno empresarial dinámico. Un componente esencial de esta industria es el molino SAG, un equipo clave en el proceso de procesamiento de minerales. La operación eficiente de estos molinos a menudo suele enfrentar obstáculos debido al desgaste y desviaciones en el mantenimiento de sus revestimientos y componentes internos, lo que afecta la productividad general y la rentabilidad de las operaciones mineras. En este contexto, las compañías mineras buscan herramientas y estrategias para mejorar continuamente y cerrar brechas operativas, en diversos aspectos, sin embargo el presente estudio se enfocará en los molinos SAG, a solicitud de la gerencia de excelencia operacional de MLP, perteneciente a AMSA. Para mayor información sobre MLP y la operación del molino SAG, dirigirse a anexos A y B.

La aplicación de la metodología Lean y la implementación del trabajo estandarizado pueden desempeñar un papel transformador en este escenario (ver anexo C). La metodología Lean, al centrarse en eliminar desperdicios y mejorar los procesos, tiene el potencial de optimizar la eficiencia del proceso productivo en la industria minera. Por otro lado, el trabajo estandarizado puede garantizar una ejecución precisa y uniforme de tareas de mantenimiento programado, como el cambio de revestimientos de un molino SAG, reduciendo el tiempo de inactividad, maximizando la disponibilidad del molino y, lo más importante, garantizando un trabajo seguro, lo que finalmente conduce a la confiabilidad e integridad operacional. Respecto a los conceptos mencionados anteriormente, en los anexos D.

Este trabajo se enfoca en analizar la viabilidad de implementar la herramienta Lean de trabajo estandarizado, con un enfoque específico en el proceso de cambio de revestimiento de un molino

SAG, integrándolo dentro de un modelo de gestión de activos y mantenimiento. El objetivo será por lo tanto unificar los objetivos estratégicos de la empresa con los del mantenimiento. Por lo anterior resulta crucial establecer una línea base con resultados reales para otros equipos críticos que presenten oportunidades de mejora.

En un contexto donde las necesidades son altas y los recursos escasos, la búsqueda de soluciones prácticas y eficaces para abordar las tareas de mantenimiento en la minería podría orientar a la industria chilena hacia la excelencia operacional y la consecución de estándares de clase mundial.

## **1.1 Problema de investigación**

La producción de MLP se vincula directamente con la disponibilidad y operación de todos sus activos físicos, que abarcan desde la etapa de extracción y concentrado hasta el bombeo y carguío en el puerto Punta de Chungo. En este contexto, la clave para una buena disponibilidad de los equipos o activos radica en la eficacia de las labores de mantenimiento y el control operativo.

En el ámbito de la molienda, se identificaron considerables variaciones en los tiempos dedicados a las mantenciones de los molinos SAG, especialmente en las planificadas. La problemática principal se centra en desviaciones durante el mantenimiento, prolongados tiempos de intervención, calidad y seguridad en estas operaciones, entre otros aspectos. Estos problemas repercuten directamente en la producción y generan complicaciones en la programación de las tareas conforme al plan matriz de molienda.

Garantizar una operación eficiente y una alta disponibilidad en la molienda primaria es crucial, ya que estos equipos desempeñan un papel fundamental al moler el mineral para su posterior transporte y carga en los barcos destinados al proceso.

## **1.2 Justificación de la memoria**

Las razones fundamentales y la importancia del estudio realizado en MLP, a solicitud de la Gerencia de Excelencia Operacional, radican en los siguientes puntos:

### **1.2.1 Reporte Final VSM MLP**

Para el año 2020, se dió a conocer un reporte de análisis de cuellos de botella (VSM) cuyo objetivo era identificarlos en todo el proceso de producción de MLP (desde la mina hasta el puerto) a través de un levantamiento detallado del flujo de valor.

Este análisis consistió en la evaluación de 218 procesos, considerando 412 equipos, con 88% de data levantada y un 100% de validaciones con 14 superintendencias y 7 gerentes, indicando

como primer hito que la molienda SAG es el principal cuello de botella para distintos escenarios PreINCO (incorporación de cuarta línea de producción).

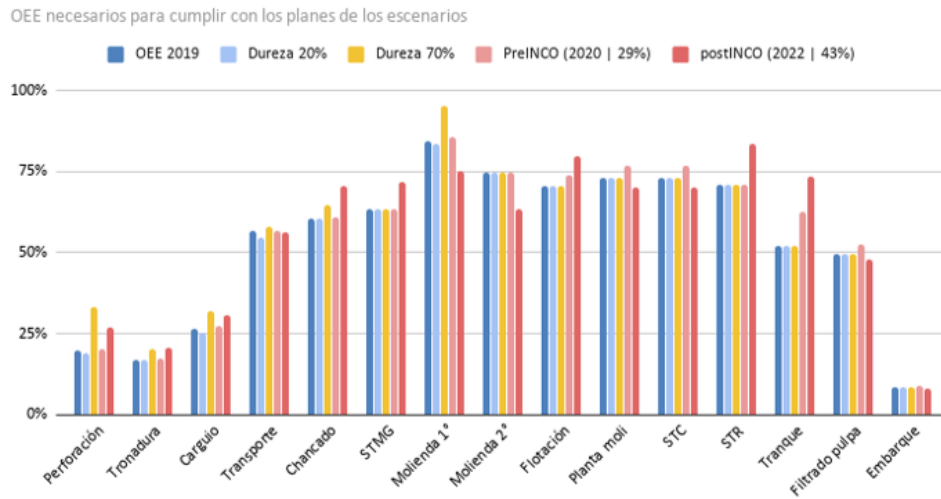


Figura 1.1: Análisis de cuellos de botella proceso productivo MLP (Pelambres, 2023)

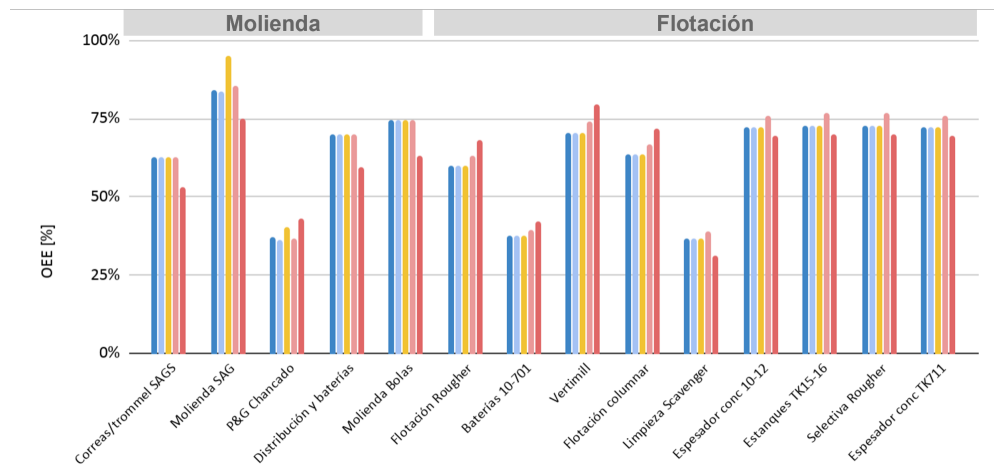


Figura 1.2: Cuellos de botella planta concentradora (Pelambres, 2023).

Por lo tanto el presente estudio se abocará al desarrollo de una tarea de mantenimiento más segura, accesible y eficiente con el objetivo de incrementar la disponibilidad del molino SAG. Lograr este aumento en la disponibilidad no solo facilitará el funcionamiento óptimo del proceso productivo, llevando a un incremento en la producción total del sistema, sino que también reducirá los periodos de inactividad asociados a fallas o mantenimiento. Este enfoque contribuye a una mayor eficiencia operativa y mejora la eficiencia global del equipo, al mismo tiempo que puede traducirse en una reducción de los costos operativos. La disminución del tiempo de inactividad

implica menos pérdida de producción y, en última instancia, conduce a una operación más rentable en su conjunto.

### 1.2.2 Análisis de candidatos para aplicar Trabajo Estandarizado

A fines del año 2022, se realizó un análisis de parte de la gerencia corporativa de mantenimiento y excelencia operacional de AMSA cuyo objetivo consistía en identificar los candidatos para trabajo estandarizado, esto de acuerdo al tipo de equipo identificado en la plataforma SAP. En ella, se visualizan las cantidades de HH utilizadas, de acuerdo al tipo de trabajo (PM01, PM02, PM03), dedicando mayor enfoque en las PM02, ya que consisten en tareas repetitivas y con mayor frecuencia. Este análisis arrojó que el 8% de los tipos de equipo consumen el 80% de horas hombre en OT'S.

**Horas Hombre por tipo de Equipo (AMSA)**

| Tipo Equipo          | N° Equipos | PM01      | PM02      | PM03    | Total     | % Acum. |
|----------------------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|
| CORREA TRANSPORTADOR | 257        | 209.825   | 345.420   | 62.745  | 617.990   | 16%     |
| CAMIÓN DE EXTRACCIÓN | 232        | 101.197   | 197.851   | 91.200  | 390.248   | 26%     |
| (en blanco)          |            | 14.435    | 350.036   | 5.703   | 370.174   | 36%     |
| EDIFICIO ESTRUCTURAL | 714        | 76.538    | 92.624    | 17.326  | 186.488   | 41%     |
| PALA ELÉCTRICA       | 19         | 91.429    | 42.975    | 9.209   | 143.614   | 45%     |
| MOLINO SAG           | 4          | 56.779    | 68.510    | 6.788   | 132.077   | 48%     |
| CHANCADOR DE CONO    | 47         | 32.632    | 58.814    | 19.971  | 111.418   | 51%     |
| SALA ELÉCTRICA       | 292        | 13.259    | 72.579    | 7.342   | 93.180    | 54%     |
| ALIMENTADOR DE CINTA | 102        | 36.565    | 39.429    | 10.874  | 86.867    | 56%     |
| PERFORADORA DIESEL   | 26         | 42.508    | 25.831    | 13.125  | 81.464    | 58%     |
| CARGADOR FRONTAL     | 23         | 33.867    | 34.684    | 12.417  | 80.968    | 60%     |
| MOLINO DE BOLAS      | 9          | 14.045    | 56.650    | 7.475   | 78.170    | 62%     |
| ESPEADOR             | 25         | 46.657    | 22.224    | 6.369   | 75.250    | 64%     |
| CELDAS DE FLOTACION  | 179        | 16.563    | 40.340    | 17.399  | 74.303    | 66%     |
| PALA HIDRÁULICA      | 10         | 19.416    | 30.196    | 7.158   | 56.770    | 68%     |
| BOMBA ALIMENTACION   | 101        | 14.685    | 31.827    | 9.857   | 56.368    | 69%     |
| HARNERO VIBRATORIO   | 30         | 23.202    | 22.381    | 8.232   | 53.815    | 70%     |
| BOMBA DE IMPULSIÓN   | 175        | 15.014    | 14.779    | 10.028  | 39.820    | 71%     |
| TRACTOR DE ORUGAS    | 23         | 8.482     | 23.753    | 7.365   | 39.601    | 72%     |
| BATERÍA DE CICLONES  | 18         | 6.860     | 27.684    | 4.969   | 39.512    | 74%     |
| BOMBA HORIZONTAL     | 214        | 8.691     | 13.834    | 11.554  | 34.079    | 74%     |
| CHANCADOR DE MINERAL | 2          | 5.859     | 24.133    | 3.043   | 33.034    | 75%     |
| BOMBA VERTICAL       | 181        | 10.144    | 15.654    | 6.919   | 32.718    | 76%     |
| MAQUINA DESPEGADORA  | 8          | 2.596     | 24.384    | 5.192   | 32.172    | 77%     |
| BATERÍA HIDROCICLON  | 7          | 7.495     | 17.295    | 4.798   | 29.588    | 78%     |
| PERFORADORA ELÉCTRIC | 12         | 14.920    | 9.613     | 4.301   | 28.834    | 79%     |
| MOLINOS VERTICALES   | 10         | 9.609     | 12.669    | 2.640   | 24.918    | 79%     |
| MOTONIVELADORA       | 19         | 6.664     | 9.966     | 7.395   | 24.025    | 80%     |
| PIPING               | 98         | 6.119     | 14.483    | 2.872   | 23.474    | 80%     |
| OTROS (319 tipos)    | 5462       | 221.500   | 397.464   | 129.141 | 748.105   | 100%    |
|                      |            | 1.167.555 | 2.138.083 | 513.406 | 3.819.044 |         |
|                      |            | 294%      | 538%      | 129%    |           |         |

Figura 1.3: Datos Órdenes de Trabajo Pelambres (2023).

Particularmente, para el caso de la planta concentradora, molinos SAG, se consumieron 39.634 [HH], donde el trabajo realizado correspondió al cambio de revestimientos para las 3 líneas de producción.

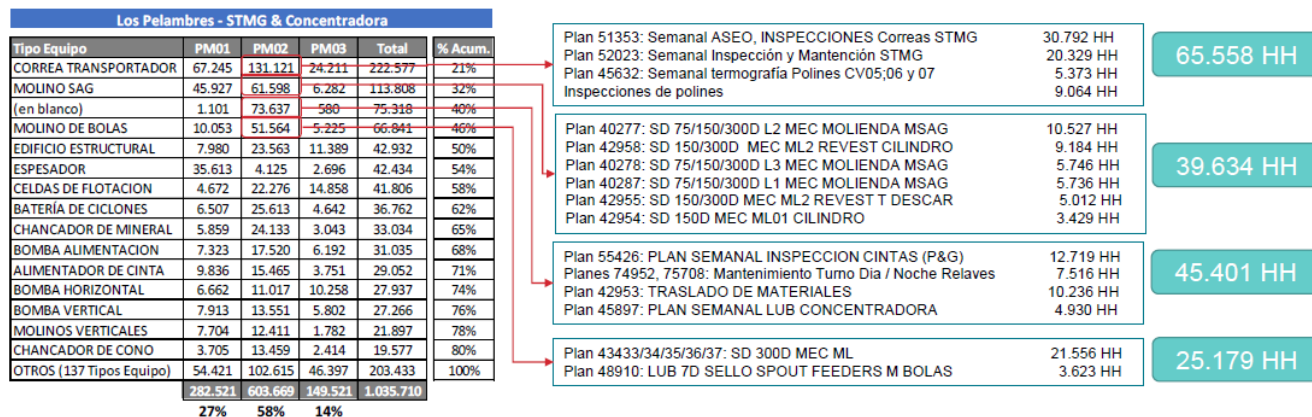


Figura 1.4: Distribución de trabajos por equipo STMG y planta concentradora (Pelambres, 2023).

En consecuencia, siguiendo el criterio de expertos y basándose en el consumo de horas hombre en las actividades de mantenimiento, se determinó de acuerdo a lo solicitado por la Gerencia de Excelencia Operacional de MLP priorizar la aplicación de la herramienta Lean de trabajo estandarizado, centrándose especialmente en el proceso de cambio de revestimientos de los molinos SAG para este trabajo de título.

### 1.2.3 Caso de negocio Trabajo Estandarizado

Las iniciativas en MLP requieren la aprobación del área financiera, proceso que implica la presentación de un caso de negocio. Este documento proporciona una valoración y evaluación del potencial de ganancia asociado con la iniciativa propuesta. La valoración se lleva a cabo mediante una calculadora estandarizada a nivel del grupo minero, utilizando datos de procesamiento de la planta concentradora con el año 2022 como línea base.

Específicamente, el caso de negocio desarrollado por el área de excelencia operacional en colaboración con el área de planta concentradora-molienda se denomina "Trabajo Estandarizado en Cambio de Revestimientos SAG". La línea base para este caso de negocio corresponde al primer cambio de revestimientos del molino SAG 03, realizado en marzo de 2023. La oportunidad identificada radica en el aumento de la disponibilidad de los molinos SAG al reducir riesgos, mejorar la calidad, y optimizar recursos y tiempos.

Como resultado, la iniciativa de trabajo estandarizado en el cambio de revestimientos de molinos SAG presenta beneficios significativos para el año 2023. Con una contribución del 0,95% en la disponibilidad de los molinos SAG, se refleja en una reducción del tiempo de mantenimiento de la

planta en 83 [hr], contribuyendo a un incremento de 3.470,09 [ton Cu] y generando un beneficio económico potencial de 21,1 [MUSD].

### **1.3 Alcances de la memoria**

Este trabajo de título se desarrolló principalmente en la gerencia de excelencia operacional, en colaboración con los equipos de mantenimiento ejecución, mantenimiento planificación, mantenimiento confiabilidad y E.E.C.C., con un enfoque específico en la molienda primaria. La recopilación de información se centró en la tarea crítica del cambio de revestimiento de los molinos SAG, desde el retiro del chute de alimentación hasta su reintegración al molino, excluyendo la parada y puesta en marcha del molino SAG.

La recopilación de información abarcó el año 2023, concentrándose en 4 actividades de mantenimiento mayor distribuidas en las tres líneas de producción. Para analizar esta información, se empleó la métrica "time on tools". Durante este proceso, se identificaron aspectos de valor, se buscaron eliminar fuentes de desperdicio y se abordaron variaciones en la ejecución de la actividad. Los resultados obtenidos se examinarán para evaluar su impacto en el KPI de disponibilidad del molino SAG, sin considerar su utilización ni rendimiento, analizando impactos en términos de desperdicios, MTTR, eficiencia del equipo (OEE), material procesado y cobre fino procesado, así como una evaluación económica.

Respecto de la descripción de la empresa, así como del funcionamiento y relevancia del Molino SAG, estos se encuentran en los anexos A y B.

# Capítulo 2

## Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Estudiar la factibilidad de implementar un procedimiento estandarizado basado en la aplicación del método Lean en un modelo de gestión de activos y mantenimiento para el cambio de revestimiento de un molino SAG para una empresa minera de la IV región, con el fin de lograr confiabilidad e integridad operacional.

### 2.2 Objetivos específicos

- Identificación del contexto global y operacional.
- Identificación de riesgos asociados al contexto global y operacional.
- Analizar riesgos asociados al contexto global y operacional.
- Evaluar y jerarquizar riesgos.
- Diseñar un plan de mitigación basado en enfoques Lean en el modelo de gestión de activos y mantenimiento.
- Realizar una evaluación económica de los resultados.

# Capítulo 3

## Marco teórico

Respecto los conceptos y definiciones que se utilizaron en el desarrollo de este trabajo, estos se encuentran desarrollados a mayor profundidad en el anexo D. Sin embargo, de manera breve los conceptos claves se definen a continuación.

### 3.1 Modelo de gestión de activos y mantenimiento

Es un enfoque sistemático que busca administrar eficientemente los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida. El modelo consta de las siguientes ocho etapas:

1. Definir la misión, visión y valores para establecer una estrategia de gestión de mantenimiento y construir un plan de negocio.
2. Análisis de la situación actual en la gestión del mantenimiento, considerando aspectos como planificación, programación, ejecución de tareas y recursos asignados.
3. Jerarquizar equipos de la línea productiva según su nivel de criticidad, utilizando métodos cualitativos-cuantitativos como el RCM.
4. Realizar un análisis detallado de los equipos críticos identificados, considerando inspecciones técnico-visuales y análisis de posibles fallos repetitivos.
5. Diseñar planes de mantenimiento, recopilando información, determinando funciones, identificando fallas y evaluando consecuencias.
6. Programación del mantenimiento, optimizando recursos y evaluando desviaciones durante la ejecución.
7. Ingeniería de mantenimiento, enfocada en la mejora continua

8. Análisis del ciclo de vida del activo, considerando factores económicos, disponibilidad de repuestos y formación de personal.

## 3.2 Confiabilidad operacional

Es la probabilidad de que un elemento funcione sin fallar bajo condiciones ambientales preestablecidas. Implica prevenir fallos, interrupciones no planificadas y reducciones en el rendimiento que puedan afectar la operación. Se utilizan estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, gestión de activos y prácticas de ingeniería. Este concepto se basa en 4 pilares fundamentales:

1. **Confiabilidad en procesos:** Se refiere a la probabilidad de que un proceso o sistema funcione constantemente en concordancia con la producción, requiriendo comprensión profunda del proceso y la gestión de parámetros para prevenir fallos.
2. **Confiabilidad en el equipo:** Se define como la probabilidad de que un equipo cumpla efectivamente su función asignada en un período de tiempo determinado. Se destaca la importancia de estrategias de mantenimiento efectivas y la adaptabilidad de los equipos al entorno operativo.
3. **Mantenibilidad de equipos:** Se refiere a la facilidad con la que se puede llevar a cabo una intervención de mantenimiento o reparación en un equipo. La mantenibilidad está vinculada al diseño del proceso de producción y es esencial para reducir el tiempo medio de reparación (MTTR).
4. **Confiabilidad humana:** Corresponde a factores relacionados con las competencias laborales que abordan el error humano en el diseño, operación, mantenimiento y gestión de un sistema. Destaca la importancia de contar con niveles adecuados de competencia, conocimiento y motivación.

## 3.3 Disponibilidad

Se refiere al tiempo que un sistema o equipo está operativo y listo para funcionar cuando se necesita. Se expresa como un porcentaje, calculado dividiendo el tiempo en que el sistema está disponible entre el tiempo total en un período determinado. La fórmula matemática es  $A = \frac{UT}{UT+DT}$ , donde UT es el tiempo de funcionamiento y DT es el tiempo fuera de servicio por causas técnicas. Una alta disponibilidad indica un funcionamiento confiable y acceso cuando se requiere, siendo crucial

en mantenimiento y gestión de activos para evaluar el rendimiento y la confiabilidad de los equipos y sistemas.

### 3.4 Integridad operacional

Se refiere a la capacidad de un sistema, proceso o equipo para operar de manera segura y confiable a lo largo de su ciclo de vida, cumpliendo con estándares de seguridad, calidad y desempeño. Se enfoca en la prevención de incidentes, la gestión de riesgos y la eficiencia de las operaciones. Su eficiencia se mide a través del EBITDA y se sustenta en pilares como rentabilidad, sustentabilidad, competitividad, mantenibilidad, ingeniería de confiabilidad operacional y aspectos económicos. Para lograr un nivel óptimo de integridad operacional, se debe alcanzar primero un nivel óptimo de confiabilidad operacional, basado en sus cuatro pilares fundamentales: confiabilidad humana, en procesos, en equipos y mantenibilidad de equipos.

### 3.5 MTBF

Mean Time Between Failure (MTBF), o Tiempo Medio Entre Fallas, es un indicador clave de rendimiento (KPI) que representa el tiempo promedio que un equipo funciona sin interrupciones. Su cálculo implica la integral de la función de confiabilidad a lo largo del tiempo. Mantener un alto MTBF contribuye a mejorar la confiabilidad del sistema. El seguimiento del MTBF ofrece ventajas como optimizar la programación del mantenimiento preventivo, prever la frecuencia de fallos, estimar cuándo un activo puede fallar o necesitar reemplazo, y mejorar el inventario y la disponibilidad de piezas.

### 3.6 MTTR

Mean Time To Repair (MTTR), o Tiempo Medio para la Reparación, representa el tiempo promedio necesario para realizar una reparación o mantenimiento en un equipo, incluyendo pruebas y diagnósticos. Su fórmula incluye el tiempo total de reparación y el número total de reparaciones. El MTTR es esencial para evaluar la capacidad de respuesta frente a fallos, identificar casos frecuentes de reparación y reducir el tiempo de inactividad del equipo. El MTTR se divide en distintos tipos de mantenimientos, entre ellos:

- **Mantenimiento preventivo:** Realiza intervenciones en intervalos determinados para prevenir fallas y detectar problemas antes de que se conviertan en rupturas.

- **Mantenimiento correctivo:** Se ejecuta después de una falla y puede ser planificado (con anticipación) o no planificado (de emergencia).
- **Mantenimiento predictivo:** Sustituye elementos basándose en la monitorización del funcionamiento del equipo, permitiendo pronosticar el punto futuro de falla y minimizando el tiempo muerto.

### 3.7 VSM

El mapa de flujo de valor es una herramienta de la metodología Lean que visualiza y analiza el flujo de materiales, información y actividades a lo largo de un proceso empresarial. Su objetivo principal es identificar y eliminar desperdicios, mejorando así la eficiencia y la productividad. A través de símbolos y notaciones específicas, el VSM representa gráficamente todas las etapas del proceso, desde la entrada de materia prima hasta la entrega final al cliente. Al analizar el mapa, las organizaciones pueden identificar áreas de mejora, eliminar cuellos de botella y optimizar procesos para lograr una producción más eficiente y rentable en diversos sectores, incluyendo fabricación, servicios, logística y atención al cliente.

### 3.8 Metodología lean

La metodología Lean, inspirada en el Sistema de Producción de Toyota (TPS), busca satisfacer las necesidades del cliente minimizando el consumo de recursos mediante la eliminación constante de desperdicios. Su enfoque se centra en comprender la situación real donde se genera valor, optimizar procedimientos, desarrollar capacidades individuales y establecer un sistema de gestión eficiente. Al aplicar Lean, las empresas experimentan beneficios como la reducción de costos, la satisfacción del cliente, la mitigación de riesgos, la disminución de actividades sin valor y el fomento del trabajo en equipo. Lean promueve la mejora continua, la toma de decisiones basada en datos y un enfoque eficiente y sostenible en cualquier sector u organización.

### 3.9 Lean management

Lean Management, evolución del Lean Manufacturing, busca mejorar la eficiencia operativa eliminando actividades que no aportan valor en distintos ámbitos de la empresa. A diferencia de controlar rigurosamente los procesos, promueve la responsabilidad y el liderazgo compartidos, con énfasis en el respeto a las personas y la mejora continua. Rompe paradigmas asociados al Lean

manufacturing y no se limita a la industria automotriz ni a empresas grandes o del sector industrial. Sus principios incluyen identificar valor, mapeo de flujo de valor, crear un flujo continuo, establecer un sistema pull y fomentar la mejora continua. En MLP, la metodología Lean Management se centra en objetivos comunes, mejora continua, procesos eficientes y desarrollo de personas, utilizando herramientas específicas para lograrlos.

### 3.10 TPM

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una ley fundamental en la metodología Lean para el mantenimiento, orientada a lograr la máxima confiabilidad de los activos vinculados a la producción. Su propósito abarca la eliminación de accidentes, defectos y fallas, implicando un enfoque de mantenimiento basado en activos que involucra a todos los niveles organizativos. El TPM aborda integralmente el ciclo de vida del sistema de producción, estableciendo un sistema robusto para prevenir pérdidas. Las actividades de TPM se centran en obtener resultados tangibles, siendo la Eficacia General del Equipo (OEE) un indicador clave, calculado a partir de la disponibilidad, utilización y rendimiento del equipo.

### 3.11 Trabajo estandarizado

Estandarización implica realizar una operación siempre de la misma manera y tiempo, reduciendo variaciones en un proceso. En el contexto de Lean, se utiliza para producir productos de calidad de manera eficiente. El Trabajo Estandarizado es un método estructurado que busca eliminar pérdidas y mejorar la seguridad, eficiencia y calidad. Busca reducir tiempos incidentales, desperdicios y agregar valor. El proceso incluye la captura y análisis de la actividad, creación del estándar, ejecución y iteración. La iteración se repite según sea necesario, pero los mayores beneficios se obtienen en las primeras etapas.

### 3.12 Desperdicios

Dentro de un sistema de producción, los desperdicios se clasifican en tres términos: MUDA, MURA y MURI.

1. **Muda (despilfarro):** Se refiere a desperdicios relacionados con la producción que no agregan valor al producto o servicio final. Incluye defectos, sobreproducción, tiempo de espera, talento no utilizado, transporte, inventario, movimientos y sobreprocesamiento.

2. **Mura (inconsistencia)**: Implica desperdicios vinculados a la falta de consistencia y estabilidad en el proceso de producción. Se manifiesta en variabilidad, cambios frecuentes, sobrecarga y falta de equilibrio en el trabajo asignado.
3. **Muri (sobre-carga o falta de uso)**: Refiere a desperdicios asociados con la sobrecarga o falta de utilización eficiente de equipos o personas. Incluye la sobrecarga del equipo, la sobrecarga de las personas, la falta de uso eficiente del equipo y la falta de utilización efectiva de las habilidades y conocimientos de los trabajadores.

# Capítulo 4

## Marco de desarrollo de objetivos específicos

Este trabajo se enfoca en el estudio de factibilidad de implementar la herramienta Lean de trabajo estandarizado en un modelo de gestión de activos y mantenimiento para el cambio de revestimientos de molinos SAG en MLP. El modelo busca alinear los objetivos estratégicos de la empresa con los objetivos del mantenimiento. El desarrollo de este modelo se realizará mediante el desarrollo de los objetivos específicos de este trabajo.

En primer lugar se identificará el contexto global y operacional, revisando el estado del arte de la minería en Chile y antecedentes de MLP. Se procede con la identificación de riesgos, abarcando el contexto global mediante análisis PESTAL y el operacional. Luego, se realiza un análisis de riesgos, utilizando FODA y evaluando impactos mediante análisis de probabilidad y 6M's.

Tras analizar los riesgos, se evaluarán y jerarquizarán, determinando la criticidad de equipos, especialmente en el área de molienda de MLP, y evaluando riesgos en el cambio de revestimientos de molinos SAG. Se analizarán los puntos débiles del molino SAG y se revisará el plan de mantenimiento y recursos asignados. Avanzando al ciclo corto de mantenimiento, se diseñará e implementará un plan de mitigación para riesgos identificados con la herramienta Lean.

Finalmente, se realiza un análisis de resultados de la herramienta Lean y un análisis económico. Estas evaluaciones buscan determinar la factibilidad de implementar un procedimiento estandarizado basado en Lean en un modelo de gestión de activos y mantenimiento para cambiar revestimientos de molinos SAG en MLP, con el objetivo de lograr confiabilidad e integridad operacional.

# Capítulo 5

## Identificación del contexto global y operacional

### 5.1 Contexto global

La minería es una actividad económica clave en Chile y ha sido durante mucho tiempo uno de los principales motores de su economía. El país es el mayor productor de cobre del mundo, con una participación de alrededor del 27% del mercado global de este metal, y también es un importante productor de otros minerales como molibdeno, oro, plata y hierro (Minero, 2023).

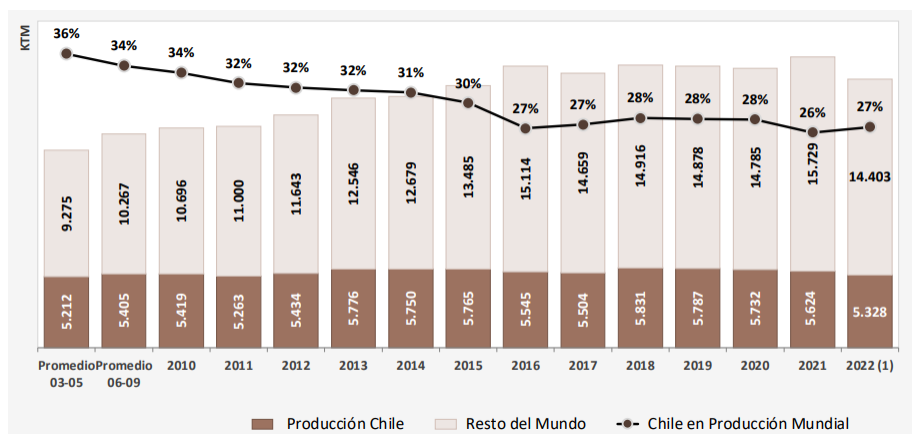


Figura 5.1: Ranking de los principales países productores de cobre a nivel mundial 2023 (Minero, 2023).

En la actualidad, la minería sigue siendo una actividad económica clave en Chile. El país cuenta con grandes reservas de cobre y otros minerales, y la industria minera es un importante empleador y generador de ingresos para el país. Además, la minería es una actividad de exportación clave para Chile, lo que contribuye significativamente a su balanza comercial. Entre los factores importantes

que le dan importancia a la minería en Chile, se encuentran:

- Producto Interno Bruto:** La minería en Chile representa actualmente uno de los mayores sectores productivos del país. A eso del 2022, el sector minero participó en un 14% del PIB de Chile, debido a la gran producción de cobre, ya que es el producto principal de exportación del país, como se puede observar en la figura 5.2, reflejado en 35.095 [MMUSD] corrientes.



Figura 5.2: PIB del sector minero y su participación en el PIB nacional (Minero, 2023).

- Exportaciones Nacionales:** Las exportaciones chilenas de cobre son muy significativas a nivel mundial, ya que Chile es el principal productor y exportador de cobre a nivel global. En el año 2022, la participación de exportaciones mineras fue de un 58%, reflejándose en 58.695 [MUSD]. Para el caso del cobre, representó el 79% de la composición de las exportaciones.

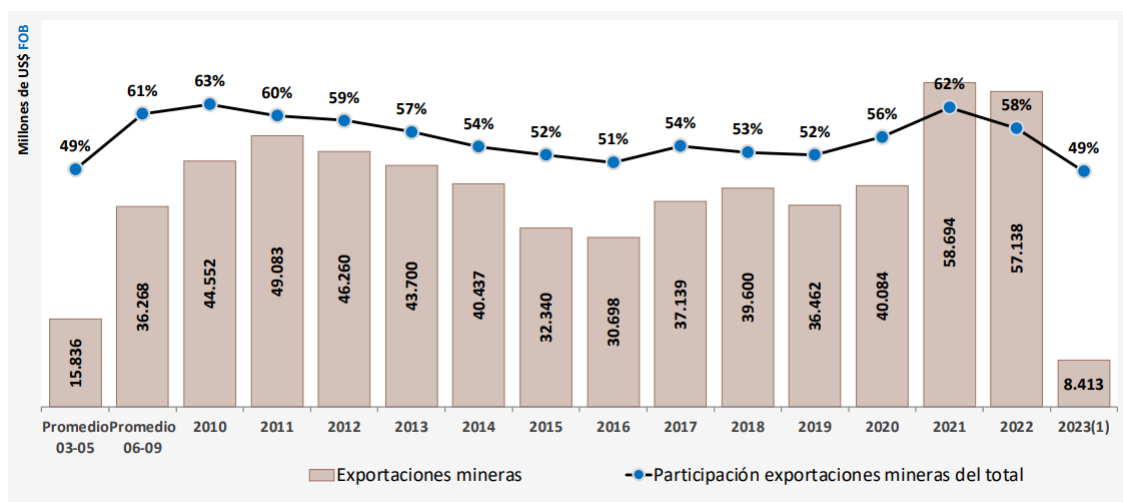


Figura 5.3: Exportaciones mineras y participación en el total (Minero, 2023).

Los principales destinos de las exportaciones de cobre chilenas son China, Japón, Corea del

Sur y Estados Unidos, países que se encuentran entre los mayores consumidores de cobre en el mundo (ver figura 5.4) .

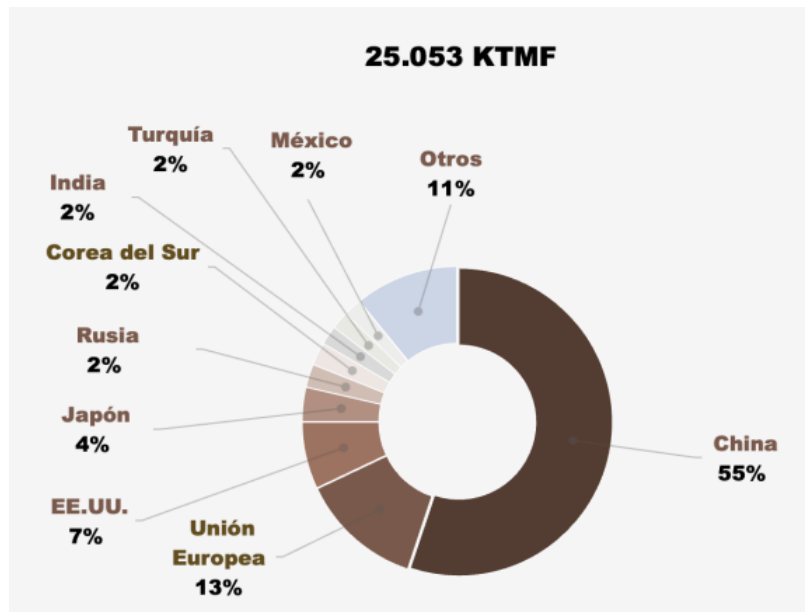


Figura 5.4: Consumo mundial de cobre (Minero, 2023)

- **Empleo:** Para el año 2022 la minería participó en un 10,9%, tanto de manera directa como indirecta, en la generación de empleos. Esta participación se distribuye en 273.000 empleos directos y 696.000 empleos indirectos (ver figura 5.5).

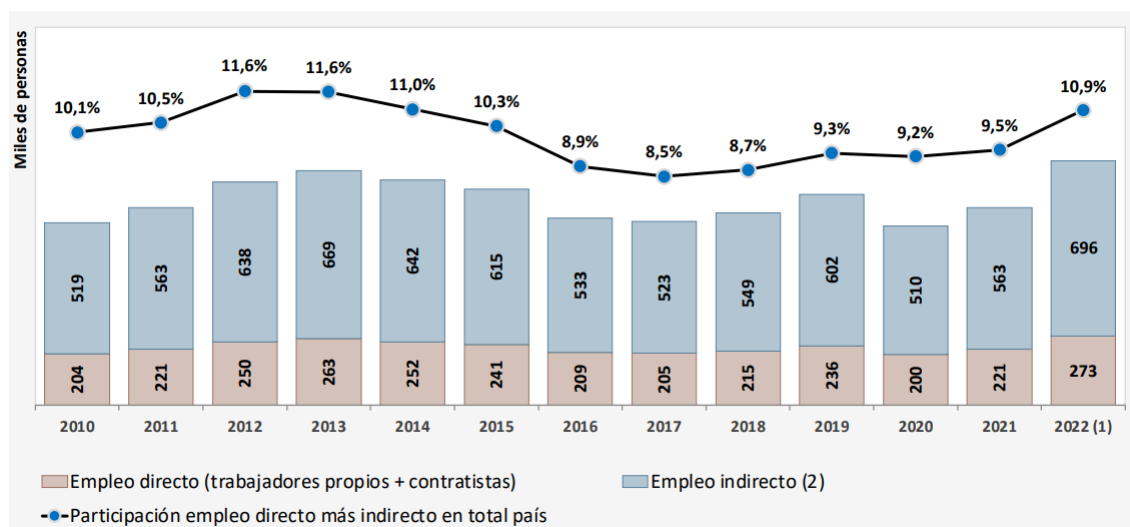


Figura 5.5: Participación en el empleo del país (Minero, 2023).

- **Inversiones Chilenas:** En Chile, el sector económico que históricamente ha recibido la mayor inversión es el de la minería. Chile es uno de los principales productores de cobre del

mundo, y la minería del cobre es una industria clave para la economía del país. La cartera de proyectos castrados en 2021, correspondientes a aquellos a materializarse entre en año 2021 al 20230, considera 51 iniciativas avaladas en 68.925 [MUSD] (Cochilco, 2021). Además del cobre, también hay importantes inversiones en otros recursos minerales, como el litio, el hierro y el oro.

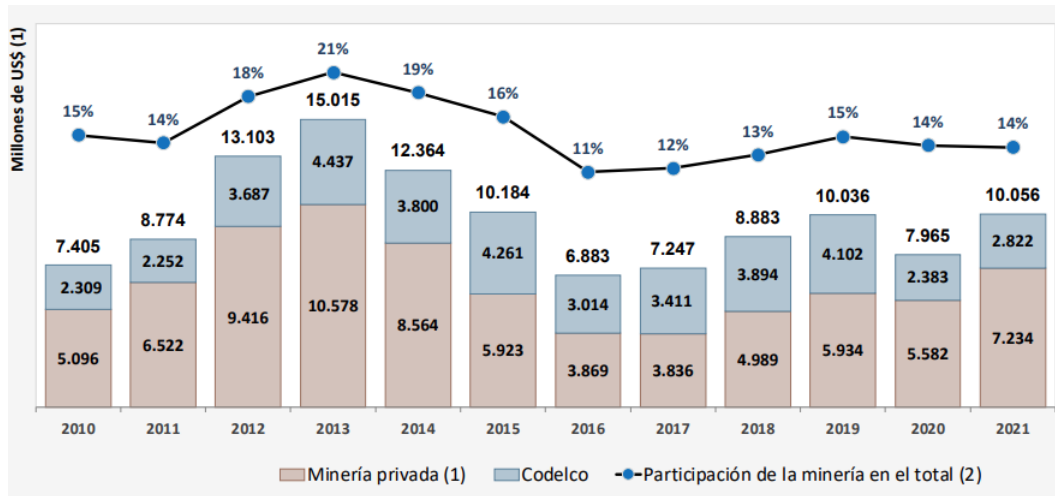


Figura 5.6: Inversión de la gran minería y participación en el total del país (Minero, 2023).

- **Cartera de Proyectos:** En términos de carteras de proyectos mineros, esta ha ido en aumento tanto para la inversión materializada como para la proyectada. Se puede apreciar que en la figura 5.7, para el 2023 existe una inversión de 10.656 [MUSD].

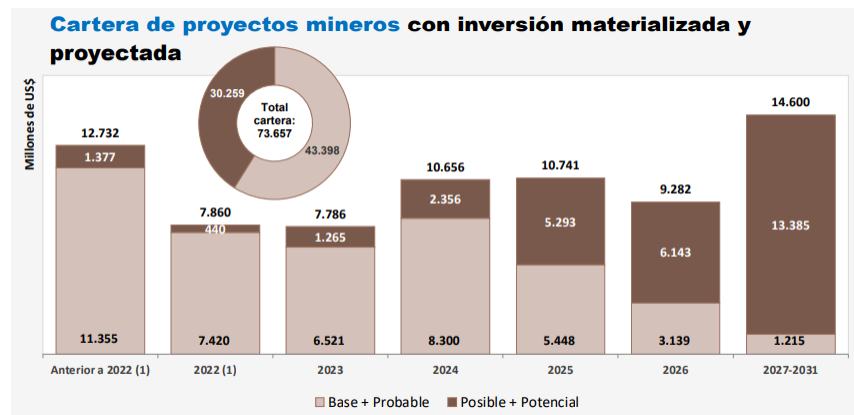


Figura 5.7: Cartera de proyectos mineros (Minero, 2023).

De acuerdo a todos los factores anteriores, es que Chile es considera como base de su economía a la minería, reafirmando también como una de las naciones líderes en tanto a producción como en reserva de cobre. La actividad minera en Chile ha sido un motor importante para el desarrollo

económico del país, contribuyendo significativamente al crecimiento del PIB y a la generación de empleo.

A lo largo de su historia, la industria minera chilena ha enfrentado diversos desafíos, como la necesidad de una mayor inversión en exploración, la modernización de sus procesos productivos y la búsqueda de una mayor sustentabilidad ambiental y social. Sin embargo, a pesar de estos retos, la industria minera chilena ha logrado mantenerse competitiva en el mercado global y seguir siendo un actor importante en la economía del país.

En los últimos años, la industria minera chilena ha experimentado un importante proceso de innovación tecnológica, implementando nuevas técnicas y procesos para mejorar su eficiencia y reducir su impacto ambiental. Además, se ha trabajado en estrecha colaboración con las comunidades locales para fomentar un desarrollo más sustentable y responsable de la actividad minera.

En conclusión, la industria minera de Chile es un sector clave en la economía del país y un actor importante en el mercado global de minerales. Aunque enfrenta desafíos importantes, su capacidad de adaptación y su compromiso con la sustentabilidad le permiten seguir siendo una fuente importante de riqueza y desarrollo para Chile.

## 5.2 Contexto operacional

Antofagasta Minerals S.A., parte del grupo minero internacional con sede en Chile, es uno de los principales productores de cobre a nivel mundial y opera 4 compañías mineras, incluyendo Minera Los Pelambres. La historia de Los Pelambres se remonta a 1914 y ha evolucionado desde una exploración inicial hasta convertirse en una mina a cielo abierto en 1999 con una capacidad de 85 [ktpd]. Sus principales productos son concentrado de cobre y molibdeno, con mercados principales en Japón, China, Asia y Europa. Además, produce subproductos como oro y plata. La mina es uno de los diez mayores productores de cobre a nivel mundial y el quinto en Chile, contribuyendo significativamente al PIB nacional y regional. Sus instalaciones, que abarcan 120 [km] desde la cordillera de los Andes hasta el océano Pacífico, atraviesan las comunas de Salamanca, Illapel y Los Vilos. La empresa se encuentra en un entorno donde coexisten más de 40 comunidades y 84 mil habitantes, con actividades económicas tradicionales como agricultura, ganadería, pesca y minería artesanal. Ubicada a 45 km al este de Salamanca, en la región de Coquimbo, la minera se accede tanto por vía terrestre a través de las rutas D-85 y D-65, como por vía aérea mediante un aeródromo privado.

### 5.2.1 Objetivos estratégicos

Dentro de sus objetivos estratégicos se encuentran su propósito, misión, visión y valores, nombrados a continuación:

- **Propósito:** *”Ser la minera más segura y productiva del mundo”*
- **Misión:**
  - Asegurar que el crecimiento de la compañía se traduzca en un mayor beneficio para todos los grupos de interés.
  - Fortalecer las relaciones con los grupos de interés para posibilitar el crecimiento.
  - Asegurar la excelencia operacional y desarrollar relaciones de confianza y mutuo beneficio con los grupos de interés.
- **Visión:** Ser una empresa productora de cobre y derivados de alta rentabilidad, con una reconocida reputación de excelencia operacional y confiabilidad, proactiva e innovadora en los ámbitos económicos, social y ambiental, percibida como un socio estratégico en el desarrollo de la región de Coquimbo.
- **Valores:**
  1. Respeto a los demás
  2. Responsabilidad por seguridad y salud
  3. Compromisos con la sustentabilidad
  4. Excelencia en el desempeño diario
  5. Innovación como práctica permanente
  6. Somos visionarios

Conforme al modelo de gestión de activos y mantenimiento, es esencial vincular el propósito estratégico de la empresa con las prácticas de mantenimiento. Esta conexión posibilita alcanzar niveles de excelencia operacional.

### 5.2.2 Proceso productivo

El proceso productivo de Minera Los Pelambres inicia con la extracción de mineral de cobre en una mina de cielo abierto, ubicada en la cordillera de Los Andes a 3600 [m.sn.m.]. Operaciones de perforación y tronadura fragmentan el material, que es cargado en camiones CAEX de alto tonelaje

y transportado al sector de chancado. Luego, el material pasa por molienda en molinos SAG y de bolas, y se somete a un proceso de flotación para separar las partículas de cobre. Después, el mineral entra al proceso de espesamiento para aumentar la concentración de cobre y se envía a través de ductos a Punta Chungo en Los Vilos. En este puerto, el concentrado se seca y se embarca a destinos globales, principalmente en Asia y Europa.

Además, el proceso incluye la recuperación de agua y la gestión de relaves, que se almacenan en el tranque El Mauro, aprobado por organismos internacionales. El concentrado de cobre se transporta por un concentraducto de 120 [km] hasta el puerto, donde se embarca para su comercialización. Este proceso integral asegura la seguridad estructural y ambiental, cumpliendo con los estándares más exigentes tanto nacional como internacionalmente. Mayores detalles del proceso productivo de MLP se puede encontrar en el anexo A.

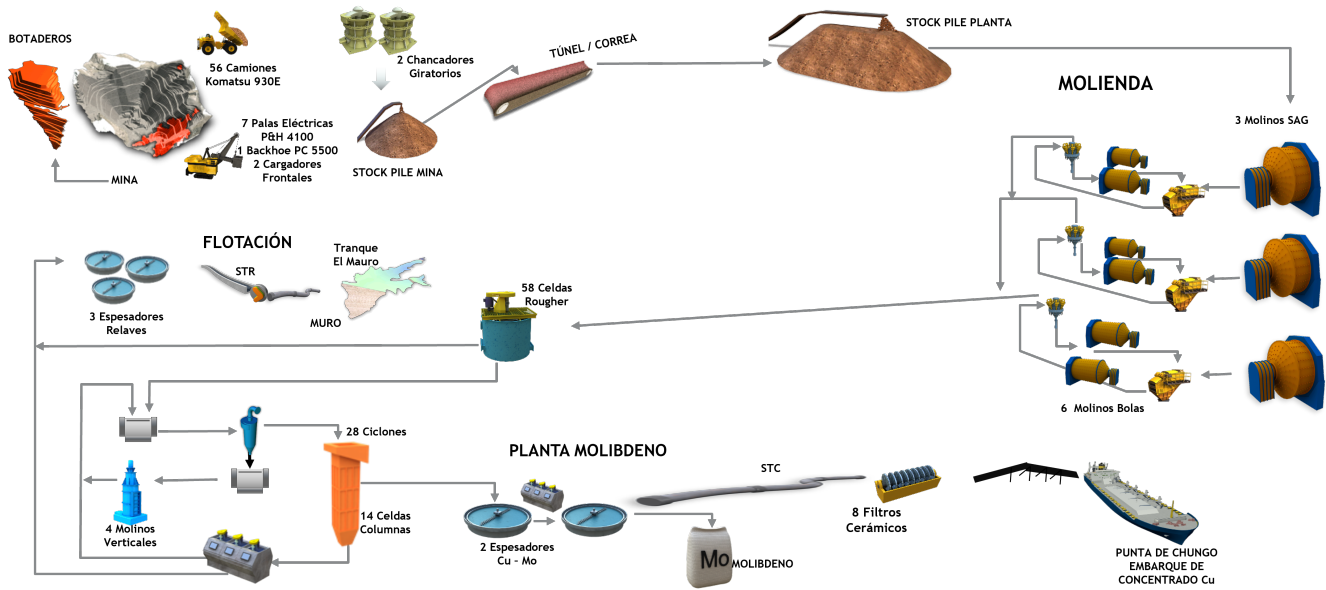


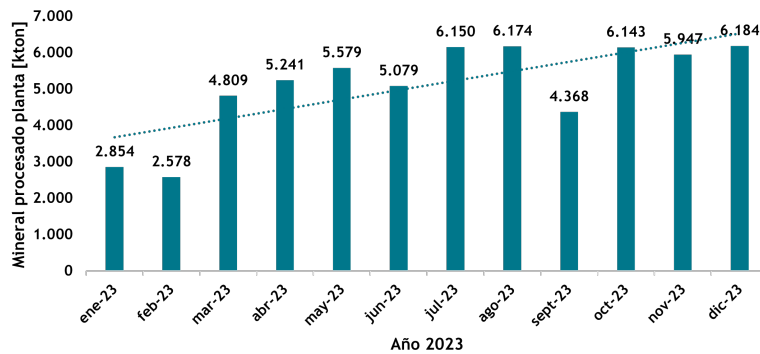
Figura 5.8: Proceso productivo (Pelambres, 2023).

### 5.2.3 Situación actual del mantenimiento

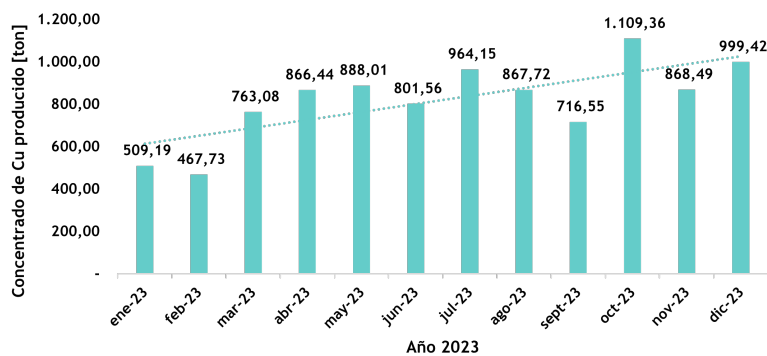
La planta concentradora de MLP, esta se encuentra a una altitud de 1.600 [m.s.n.m.], cubriendo una superficie de aproximadamente 5 hectáreas. La instalación incluye los sistemas de molienda, flotación y dependencias complementarias.

En la actualidad, el área de molienda de la planta concentradora tiene una capacidad nominal de 165 [kton/d], con 3 líneas de producción. Cada línea contribuye con un tercio de la producción total de Minera Los Pelambres, equivalente a 55 [kton/d] de mineral procesado (954,525 [ton Cu/día]). Para el año 2023, Minera Los Pelambres planea producir entre 320.000 y 350.000 [ton

Cu] (PLC, 2022). Según el presupuesto de producción, para el año 2023, se están procesando 61.104 [kton] de mineral, lo que corresponde a 338,9 [kton Cu].



(a) Plan de material procesado en planta 2023.



(b) Plan de concentrado de Cu producido 2023.

Figura 5.9: Plan de producción MLP 2023 (elaboración propia).

Los indicadores clave de rendimiento (KPIs) más cruciales para evaluar la eficiencia de los equipos incluyen la disponibilidad, el coeficiente de marcha y la eficiencia total del equipo (O.E.E.). Según el plan de producción de MLP, la planta concentradora en el área de molienda presenta actualmente una disponibilidad del 93,36%, lo que equivale a 8.178,5 [hr] disponibles de las 8.760 [hr] programadas para operar durante el año 2023. Además, el coeficiente de marcha, calculado como la multiplicación entre la utilización y el rendimiento, alcanza el 85,44%, lo que se traduce en 7.484,1 [hr] de operación efectiva de las 8.760 [hr] programadas. La multiplicación de estos valores resulta en un O.E.E. del 79,77% para el año 2023.

De acuerdo con un informe de Cochilco sobre indicadores de productividad en la minería chilena de cobre para el año 2022, que consideró una muestra de 26 faenas (15 grandes mineras y 11 medianas), se destaca que el área de planta concentradora-molienda exhibe un elevado nivel de disponibilidad. En específico, se logra un valor promedio del 92,6% del tiempo posible (Cochilco, 2022). Por lo tanto, es evidente que Minera Los Pelambres supera el promedio nacional en términos

de disponibilidad en la actualidad.

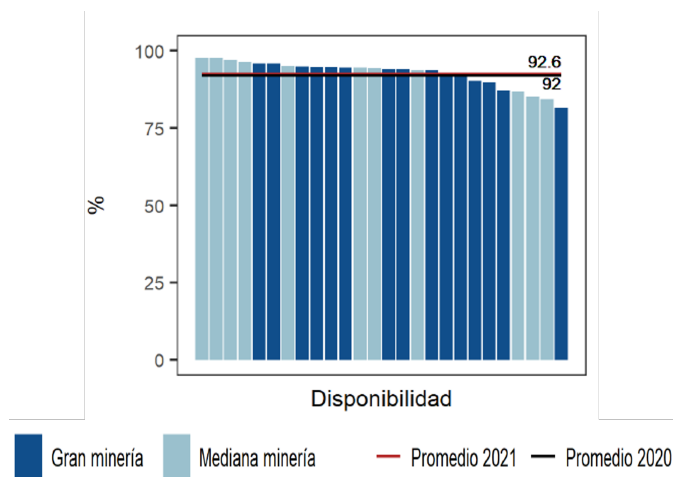


Figura 5.10: Disponibilidad del activo molienda en planta concentradora (Cochilco, 2022).

En lo que respecta a la situación actual del mantenimiento, la planificación y programación de las labores recae en el personal interno de MLP, que se encarga de estas tareas de acuerdo con la naturaleza del equipo a intervenir, en acuerdo a E.E.C.C. La ejecución de dichos trabajos está a cargo de E.E.C.C., representando el 84,99% de la fuerza laboral en MLP, y se utilizan los recursos de los diferentes contratos implicados. En este contexto, la empresa lleva a cabo 3 categorías de mantenimientos: mantenimientos programados o preventivos (PM02), los no programados o correctivos (PM03) y los mantenimientos predictivos.

### Mantenimientos programados

Los mantenimientos programados consisten en acciones preventivas, cuya frecuencia se determina según las especificaciones de fábrica de cada equipo o las recomendaciones de expertos en el área. La planificación de estos mantenimientos se registra en el sistema SAP y se lleva a cabo de manera mensual o semestral, dependiendo de las circunstancias particulares. SAP automáticamente genera las OT con las instrucciones correspondientes.

En el caso de equipos no críticos, las mantenciones se programan siguiendo las indicaciones del fabricante, y en situaciones de mantenimiento correctivo, se ejecutan conforme a lo mencionado anteriormente. Además, se llevan a cabo paradas de planta, también conocidas como Mantenciones Mayores (MM).

Estas operaciones forman parte integral del mantenimiento preventivo, donde se interrumpe una de las tres líneas operativas en la planta concentradora para realizar extensas reparaciones e intervenciones en equipos críticos vinculados al proceso de flotación, pebbles & gravilla, correas transportadoras, molienda, entre otros. Durante esta fase, se realizan restauraciones que incluyen

la sustitución de componentes desgastados. El objetivo principal de estas intervenciones es reparar todos los elementos propensos al desgaste, asegurando así la menor incidencia de fallos durante el periodo de operación.

Cada área cuenta con un gestor de mantenimiento; en el caso del MM de la planta, la gerencia de mantenimiento es la encargada de proporcionar las directrices a las distintas áreas que intervienen en dicha mantención. Se busca lograr la máxima disponibilidad de las instalaciones durante su uso, al tiempo que se minimiza tanto el tiempo como los recursos invertidos en la ejecución de la parada de planta.

### **Mantenimientos no programados**

Los mantenimientos no programados comprenden intervenciones correctivas diseñadas para solucionar averías o fallos operativos inesperados que pueden ocurrir en cualquier momento durante la operación de la planta concentradora. En el sistema SAP, se genera una OT urgente (PM03) en casos de fallos previos a las mantenciones programadas. A pesar de requerir una planificación mínima, estos eventos a menudo tienen un impacto significativo en la producción al detenerla, lo que resulta en pérdidas sustanciales tanto en cantidad como en calidad. En cuanto a las fallas en mantenimientos no planificados, se clasifican según el siguiente criterio:

- Mantenimiento Mecánico Correctivo (MCM)
- Mantenimiento Correctivo Eléctrico (MCE)
- Mantenimiento Correctivo Instrumentación (MCI)

Durante el año 2023, el plan de detenciones en términos de mantenimiento no programado para las 3 líneas del área de molienda consiste en 138 [hr].

### **Mantenimiento predictivo**

La estrategia de mantenimiento predictivo en MLP complementa su política general de mantenimiento. Este enfoque consiste en prevenir fallos en los equipos a través de la monitorización y análisis continuo de datos operativos. Este método permite evaluar la condición de un activo sin interrumpir su funcionamiento, evitando así la sustitución de componentes en buen estado o con una vida remanente significativa. Los aspectos clave de esta estrategia incluyen el monitoreo de condiciones, análisis de datos, mantenimiento proactivo, gestión de activos, mejora de la eficiencia operativa, y la reducción de costos para lograr una mayor rentabilidad.

En el caso específico de los molinos SAG, equipos cruciales en el procesamiento de minerales, en MLP se emplea una técnica predictiva que se basa en:

1. La medición de la elongación de los pernos mediante el uso de ultrasonido.
2. La termografía para evaluar el estado del shell o carcasa del molino.

De esta manera, el mantenimiento predictivo se enfoca en la prevención de fallos para mejorar la confiabilidad operativa y reducir los costos asociados con el tiempo de inactividad. La implementación exitosa de estas estrategias requiere la integración de tecnologías avanzadas y una comprensión profunda de las operaciones específicas de la operación minera.

## Reportabilidad en el mantenimiento

La plataforma oficial para la reportabilidad de mantenimiento dentro de MLP corresponde a R-MES. En esta plataforma se describe:

- Línea intervenida
- Nombre del equipo
- Duración de la actividad de mantenimiento
- Horas planta a impactar
- Razón de la actividad
- Especialidad a cargo
- Clasificación del modo de falla
- Descripción del modo de falla

### 5.2.4 Sobre el molino SAG

El molino SAG (molino semiautógeno) desempeña un papel fundamental en la industria minera, utilizando mineral y bolas de acero para triturar grandes cantidades de material. Sus componentes externos incluyen elementos como el trommel, cojinetes, barras de soporte, frenos, entre otros, mientras que los internos comprenden revestimientos, anillo de levante, trunnion, almohadillas y mallas de poliuretano en el trommel, entre otros.

Este molino reduce aún más el tamaño del mineral previamente procesado en el chancado primario, llevándolo a un rango de 3 a 4 [ $\mu m$ ] para alimentar el proceso de flotación. La conminución se logra mediante el movimiento rotatorio horizontal del cuerpo cilíndrico del molino, que provoca una acción de rotura al hacer caer violentamente el contenido del molino.

El giro del molino es crucial y es impulsado por un motor de velocidad variable que opera al 74-80% de su velocidad crítica. La velocidad crítica evita la acción de catarata, asegurando que la fuerza centrífuga mantenga el mineral contra las paredes del molino. El extremo falso en el cabezal de descarga del molino, cubierto con revestimientos de acero de cromo-molibdeno, facilita el flujo de lodos y su descarga.

Los revestimientos internos son esenciales, protegiendo tanto el molino como los medios de molienda del desgaste excesivo. Están hechos de materiales resistentes al desgaste, como aleaciones de acero, caucho o compuestos cerámicos, y su diseño se ajusta para optimizar la eficiencia del proceso. Investigaciones están en marcha para reducir los costos asociados a la molienda mediante la optimización de estos revestimientos.

La actividad que abarca la renovación de estos componentes corresponde al cambio de revestimientos en los molinos SAG. Esta se realiza en MM con a detención parcial de un molino SAG. Esto conlleva consecuencias tanto económicas como en la producción. El costo relacionado con la detención de un molino SAG se estima en aproximadamente 112.525 [USD] por cada hora ocupada, lo que representa una producción potencial de 954,525 [ton Cu]. A lo largo del año 2023, el plan de detenciones programadas para las tres líneas del área de molienda abarca un total de 443,5 [hr].

En un enfoque específico y en concordancia con el alcance de este trabajo, el área de confiabilidad llevó a cabo un análisis comparativo del tiempo medio para reparar (MTTR) que considera el cambio de revestimientos de molinos SAG a nivel nacional. Este análisis se basa en la cantidad de movimientos por hora realizados en esta actividad, desde el retiro del chute de alimentación hasta su posterior inserción.

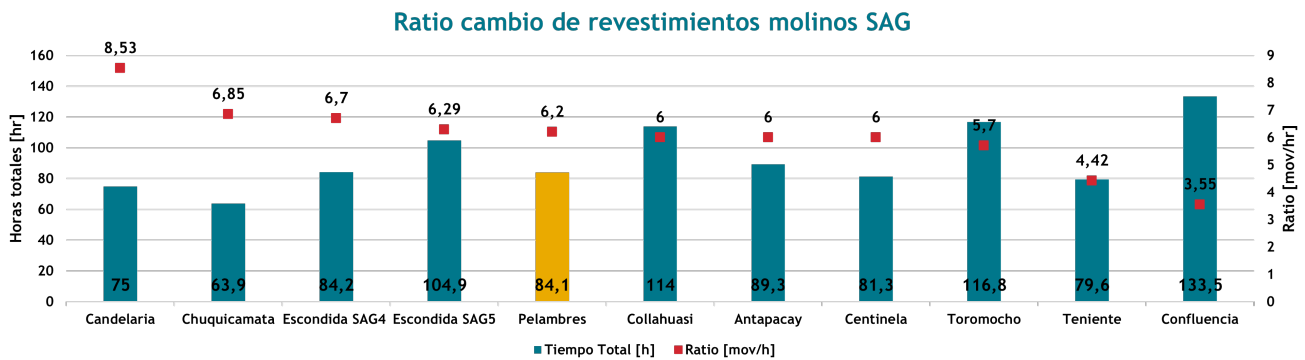


Figura 5.11: Benchmark cambio de revestimientos molinos SAG (Pelambres, 2023).

| Ranking | Minera         | Diametro nominal SAG | Ratio [mov/h] | Tapa Alimentación | Cilindro | Tapa Descarga | Cantidad corazas | Cantidad Movimientos | Tiempo Total [h] |
|---------|----------------|----------------------|---------------|-------------------|----------|---------------|------------------|----------------------|------------------|
| 1       | Candelaria     | 38"                  | 8,53          | Sin info          | Sin info | Sin info      | 320              | 640                  | 75               |
| 2       | Chuquicamata   | 32"                  | 6,85          | 72                | 105      | 42            | 219              | 438                  | 63,9             |
| 3       | Escondida SAG4 | 38"                  | 6,7           | 54                | 120      | 108           | 282              | 564                  | 84,2             |
| 4       | Escondida SAG5 | 40"                  | 6,29          | 72                | 240      | 18            | 330              | 660                  | 104,9            |
| 5       | Pelambres      | 36"                  | 6,2           | 54                | 144      | 63            | 261              | 522                  | 84,1             |
| 6       | Collahuasi     | 40"                  | 6             | 56                | 180      | 106           | 342              | 684                  | 114              |
| 7       | Antapacay      | 40"                  | 6             | 54                | 108      | 106           | 268              | 536                  | 89,3             |
| 8       | Centinela      | 40"                  | 6             | 54                | 108      | 82            | 244              | 488                  | 81,3             |
| 9       | Toromocho      | 40"                  | 5,7           | 64                | 180      | 89            | 333              | 666                  | 116,8            |
| 10      | Teniente       | 36"                  | 4,42          | 18                | 72       | 86            | 176              | 352                  | 79,6             |
| 11      | Confluencia    | 40"                  | 3,55          | 72                | 120      | 45            | 237              | 474                  | 133,5            |

Figura 5.12: Movimientos/hora cambio de revestimientos molinos SAG (Pelambres, 2023).

De acuerdo a la figura 5.11 es que MLP demora en promedio 84,1 [hr] en realizar el cambio de 261 piezas que corresponden a revestimientos en un molino SAG. Esto implica realizar 522 movimientos en todo el mantenimiento, dando un ratio de 6,2 [mov/hr]. A nivel nacional, MLP se encuentra en quinto lugar respecto a otras mineras como se puede observar en la figura 5.12.

En resumen, el molino SAG, con sus componentes internos y externos, desempeña un papel crítico en el procesamiento eficiente de minerales en la industria minera, contribuyendo significativamente a la eficiencia y rendimiento del proceso de molienda. Mayor detalle respecto al molino SAG, sus componentes y su funcionamiento, dirigirse a anexo B.

# Capítulo 6

## Identificación de riesgos asociados al contexto global y operacional

### 6.1 Contexto global

Los riesgos que pueden impactar las operaciones mineras a nivel nacional se pueden identificar mediante el análisis PESTAL. Este acrónimo representa un enfoque descriptivo que examina el entorno de las empresas. Esto se refiere a todos los factores externos que poseen relevancia para la organización. Por lo tanto, analizar estos elementos resulta crucial para la formulación de estrategias y campañas a corto y largo plazo. Particularmente, los factores que pueden suponer riesgos para las empresas mineras son:

#### 6.1.1 Político

Chile destaca por su actual estabilidad política y económica, lo que lo convierte en un destino atractivo para la inversión extranjera en la industria minera. Sin embargo, este sector se encuentra sujeto a rigurosas políticas gubernamentales y regulaciones, especialmente en el ámbito del impacto ambiental. Dentro de este marco legal se incluyen evaluaciones continuas de impacto ambiental para obtener las autorizaciones necesarias, así como el Código de Aguas, que regula la gestión de los recursos hídricos en Chile. Además, se establecen normativas laborales y de seguridad con el propósito de garantizar estándares de seguridad ocupacional, proteger a los trabajadores y prevenir riesgos laborales.

Adicionalmente, las políticas relacionadas con la industria minera en Chile buscan promover el desarrollo sostenible de esta actividad, equilibrando el crecimiento económico con la protección del medio ambiente y el bienestar de las comunidades. Estas políticas también fomentan la innovación, la productividad y la competitividad en la industria. En resumen, debido a su alta estabilidad

política y económica, Chile se presenta como un país atractivo para la inversión, con riesgos bajos que abren la puerta a inversiones significativas.

### 6.1.2 Económico

La industria minera en Chile es una de las principales fuentes de ingresos del país, y está influenciada por el precio de los minerales en los mercados internacionales. A nivel internacional, actualmente Chile es líder mundial en la producción de cobre, con un 27% de participación (Cardemil, 2023). A nivel nacional aporta alrededor de un 14,6% al PIB, con un contribución del 9% a los ingresos fiscales y las condiciones jurídico-institucionales que la enmarcan (Minero, 2023). Al ser el cobre un commodity, su precio depende netamente del mercado para su identificación de precio. Los mayores consumidores del mercado mundial se pueden visualizar en la siguiente figura:

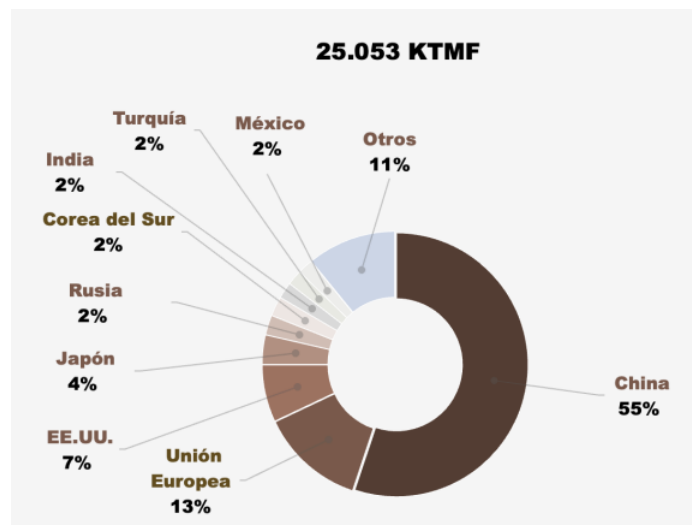


Figura 6.1: Consumo mundial de cobre (Minero, 2023).

Chile es un destino atractivo para considerables inversiones extranjeras directas. Empresas mineras internacionales asignan recursos significativos a la exploración, desarrollo y operación de proyectos mineros en el país. Además, se observa una creciente demanda de prácticas mineras sustentables y socialmente responsables. Esto implica que las empresas mineras en Chile deben cumplir con estándares ambientales y sociales, al mismo tiempo que implementan medidas para mitigar el impacto ambiental y fomentan el desarrollo local y el bienestar de las comunidades.

La transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables también está teniendo un impacto en la industria minera en Chile. Por ejemplo, el incremento en la demanda de minerales estratégicos como el litio, utilizado en las baterías de vehículos eléctricos, plantea nuevas oportunidades y desafíos para las empresas mineras en el país.

### 6.1.3 Social

La industria minera es una fuente importante de empleo en Chile, y los cambios en el empleo pueden tener un impacto significativo en las áreas donde operan las minas. El empleo directo generado en la explotación de minas y canteras ronda solo el 3% pero se estima que por cada empleo directo la actividad genera 2,55 empleos indirectos, alzando así una cifra total de 10% del empleo total a nivel nacional Cardemil (2023).

Dentro del ámbito de la industria minera chilena, los sindicatos son una presencia habitual y desempeñan un rol fundamental al representar a los trabajadores en la negociación colectiva de aspectos laborales, salariales y beneficios. La historia de los sindicatos mineros en Chile es extensa y ha tenido un papel crucial en la protección de los derechos laborales. En ciertas circunstancias, los sindicatos mineros pueden optar por realizar paros laborales con el fin de ejercer presión en las negociaciones colectivas. Estas interrupciones en las operaciones mineras pueden causar un impacto notable en la producción y dar lugar a tensiones entre las empresas y los trabajadores.

Es importante también la relación que hay entre la empresa y las comunidades aledañas a sus operaciones, debido al impacto que tiene esta industria. Para fortalecer esta relación es que las empresas mineras buscan invertir en la infraestructura y los servicios de las comunidades locales, como carreteras, escuelas, hospitales y servicios básicos. Estas inversiones pueden mejorar la calidad de vida de las comunidades y reforzar su desarrollo.

Por último, este tipo de industria puede tener un impacto en el medio ambiente y en los recursos naturales de las localidades. Sus actividades pueden generar cambios en los ecosistemas, la calidad del agua y la biodiversidad. Es por esto que reside la importancia de implementar medidas de mitigación y cuidado del medio ambiente con tal de disminuir su impacto.

### 6.1.4 Tecnológico

Hoy en día es importante mantenerse al margen de las nuevas tecnologías, debido a que estas nos ayudan para abordar cuestiones ambientales, mitigar riesgos, aumentar la seguridad, mejorar la eficiencia de los procesos y disminuir los costos. Para el año 2017, la industria minera se ubicó en el tercer lugar dentro de los principales rubros económicos quienes más invierten en I+D, con una inversión de 42 [MUSD]. De la misma manera, la industria minera se encuentra tercera a en la tasa de innovación.

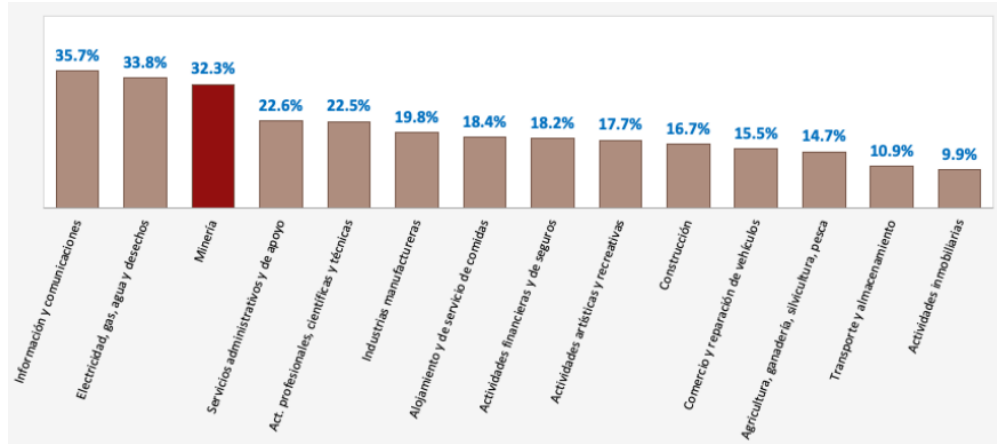


Figura 6.3: Tasa de innovación por sector económico (Minero, 2023).

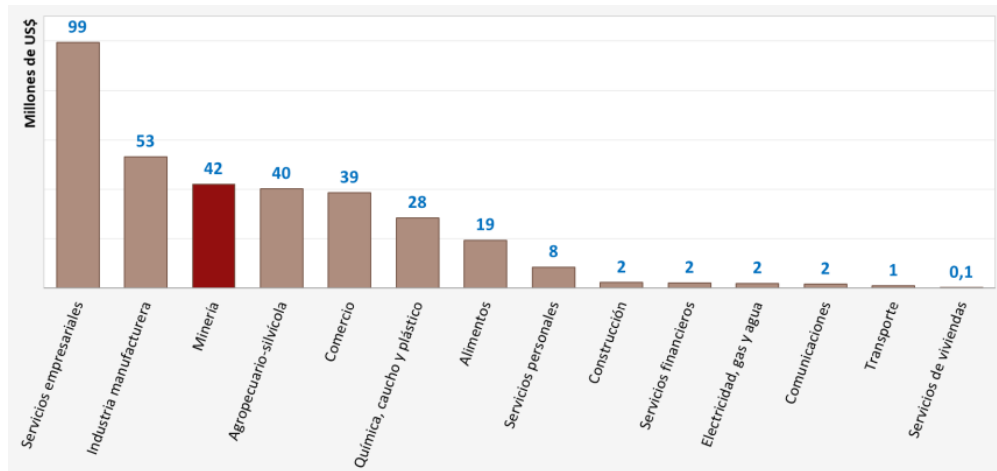


Figura 6.2: Gastos I+D por actividad económica (Minero, 2023).

La incorporación de la automatización, la robótica, big data, inteligencia artificial, drones, entre otras tecnologías permite a la industria minera mejorar la eficiencia, la seguridad y reducir los costos de sus procesos productivos. Por ejemplo, los equipos de perforación y carga automatizados pueden trabajar de manera continua y precisa, reduciendo el riesgo para los trabajadores y aumentando la productividad, la adopción de fuentes de energía más limpias y renovables, así como tecnologías de gestión de residuos y reciclaje, con tal de influir en la sostenibilidad de la industria minera, avances en técnicas de exploración geofísica y geoquímica, junto con la teledetección para facilitar la identificación de nuevos yacimientos minerales, etc.

En un escenario donde no se busca e invierte en nuevas tecnologías e innovación, la industria se puede ver afectada de manera negativa, generando deficiencia operativa, deficiencia en la seguridad, deterioro ambiental, mala reputación y relación con las comunidades, baja de calidad en los productos, entre otros, aislando a la empresa a nuevas oportunidades y provocando una baja en

su competitividad dentro del rubro.

### 6.1.5 Ambiental

Dentro de todos los factores que pueden ser de riesgo para este rubro, el factor ambiental es el más crucial debido al impacto que tiene en temas de contaminación, emisiones, ecosistema, comunidades aledañas, uso de recursos hídricos, etc. Para este tipo de afectaciones, los proyectos mineros están sometidos frecuentemente a rigurosos procesos de EIA, con el objetivo evaluar los posibles impactos ambientales de los proyectos mineros y establecer medidas de mitigación y compensación correspondiente.

En un mundo donde los recursos son escasos y las necesidades son altas, es crucial buscar nuevas formas de garantizar sostenibilidad a estos recursos. Respecto a años anteriores, por ejemplo, la extracción de agua de fuentes continentales ha disminuido, como se puede notar en la figura 6.4:

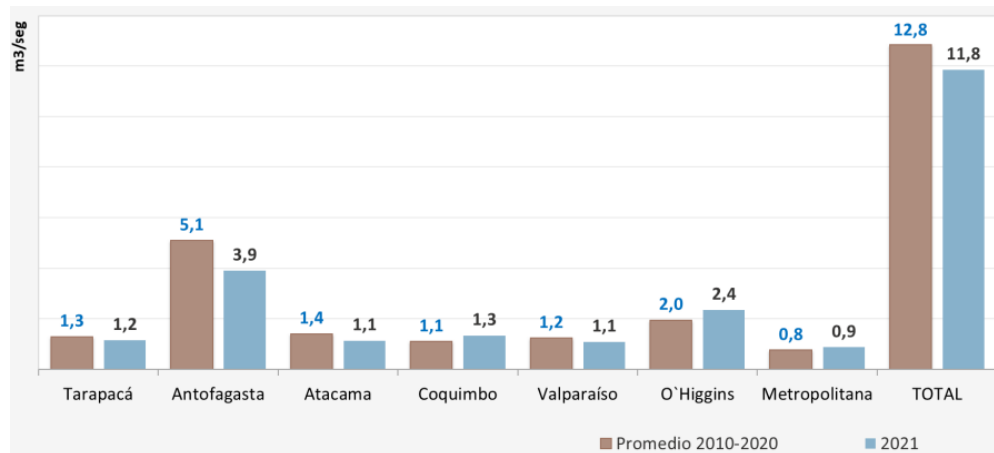


Figura 6.4: Extracciones de agua de fuentes continentales en la minería del cobre (Minero, 2023).

Esta baja en el uso de aguas continentales se debe a la alza en el uso de agua proveniente del mar figura 6.4, con el objetivo de no agotar el recurso de aguas continentales que resulta importante para los ecosistemas rondantes.

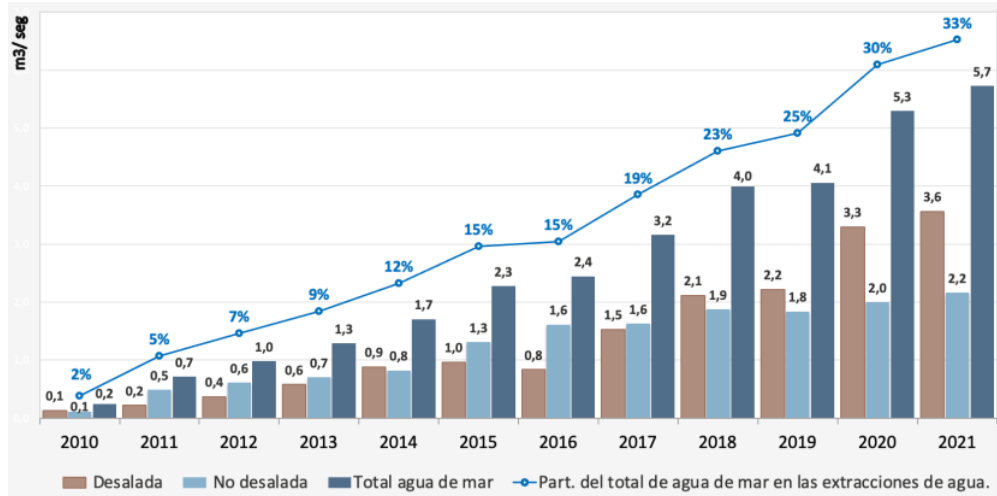


Figura 6.5: Uso de agua de mar en la minería del cobre (Minero, 2023).

Adicionalmente, se busca también la reutilización y recirculación de los recursos hídricos, generando así mayor sostenibilidad.

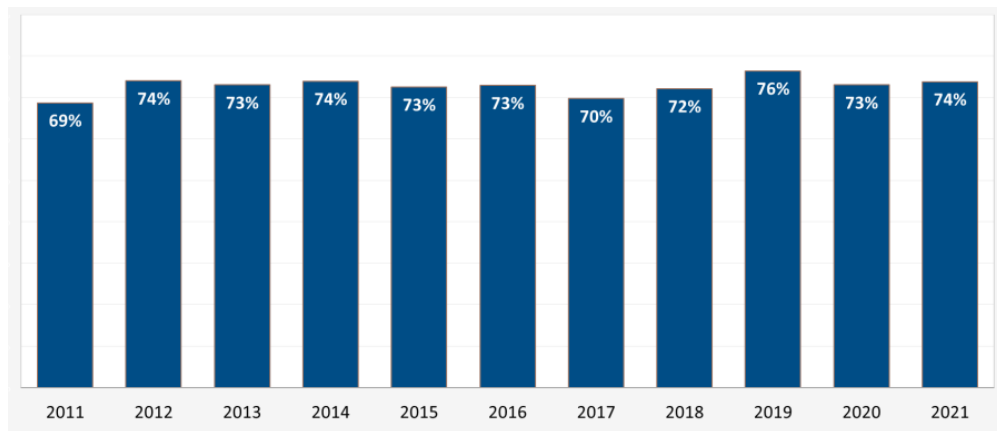


Figura 6.6: Reutilización, reciclaje y/o recirculación de agua en la minería del cobre (Minero, 2023).

Finalmente, en la siguiente figura se muestra un alza en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en lo que fue el 2021.

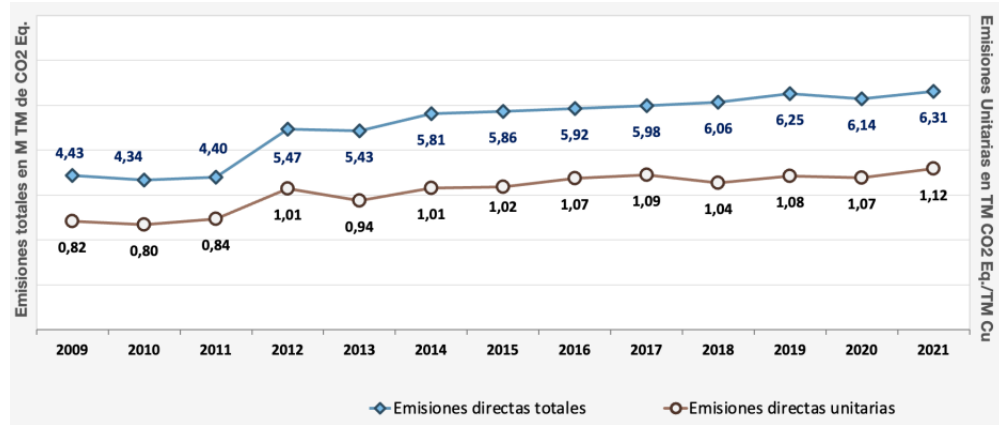


Figura 6.7: Emisiones directas de gases efecto invernadero en la minería del cobre (Minero, 2023).

La falta de aplicación de medidas ambientales adecuadas en la industria minera en Chile puede tener consecuencias negativas en términos de salud, medio ambiente, relaciones comunitarias y la viabilidad de las operaciones a largo plazo. La adopción de prácticas ambientales responsables es esencial para abordar estos desafíos.

### 6.1.6 Legal

La industria minera en Chile se encuentra sometida a una regulación exhaustiva y estricta. En términos legales, existen diversas normativas que rigen tanto los aspectos laborales como ambientales y de seguridad en esta industria. Entre las principales regulaciones y leyes que afectan a la industria minera en Chile se incluyen:

- **Legislación laboral:** La industria minera está sujeta a las disposiciones del Código del Trabajo, que establece los derechos y deberes de los trabajadores y empleadores. Además, la Ley de Subcontratación regula las relaciones laborales en el caso de subcontratistas, y la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo establece estándares de seguridad laboral.
- **Normativas ambientales:** La legislación ambiental es fundamental para garantizar la gestión adecuada de los impactos ambientales de la actividad minera. Esto incluye la EIA, un proceso de revisión y aprobación de proyectos mineros que evalúa su impacto ambiental y social. Además, la Ley General de Medio Ambiente establece los principios y normas generales para la protección del entorno.
- **Regulaciones de seguridad:** El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) es la entidad encargada de supervisar y regular la seguridad en las operaciones mineras en Chile. Esto incluye la implementación de estándares de seguridad para prevenir accidentes y desastres en las minas.

La rigurosa regulación legal y ambiental tiene como objetivo garantizar la seguridad de los trabajadores, proteger el medio ambiente y promover prácticas mineras responsables en Chile. Sin embargo, esta normativa puede representar un desafío para la entrada y el crecimiento de nuevas empresas mineras, ya que deben cumplir con estándares elevados y cumplir con los requisitos exigentes establecidos por la legislación. El incumplimiento de estas regulaciones puede dar lugar a sanciones legales, multas y la suspensión de las operaciones mineras.

## 6.2 Contexto operacional

Se identifican los riesgos que pueden afectar el entorno operacional de MLP a través de un informe de evaluación de criticidad desarrollado por la superintendencia de confiabilidad de la planta concentradora. En esta instalación, se contabilizan un total de 1541 equipos, siendo 402 de estos pertenecientes al área de molienda.

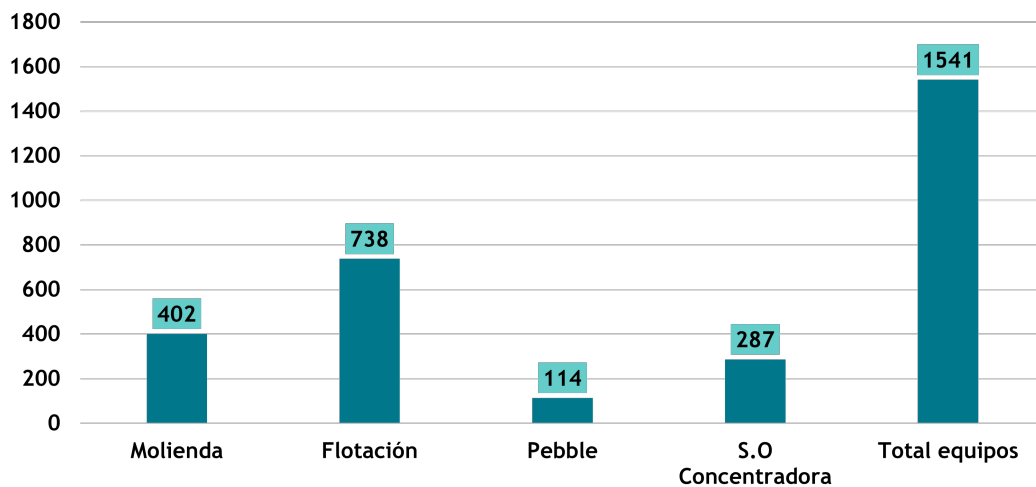


Figura 6.8: Distribución equipos planta concentradora Minera Los Pelambres 2022 (Pelambres, 2023).

Dentro de los riesgos que se identifican en el informe y que pueden afectar la operación de MLP se tienen:

- **Proyecto y operaciones:** Este término se relaciona con la evaluación y consideración del impacto que un evento, acción o situación puede tener en la operación de una organización, empresa o proyecto en términos de su rendimiento financiero y producción. Este riesgo incide en la cantidad de cobre que la planta puede producir y puede tener repercusiones financieras para la empresa, afectando incluso sus proyectos futuros.

- **Seguridad y salud ocupacional:** Este término alude a la evaluación del impacto que actividades, proyectos o eventos pueden tener en la seguridad y la salud de los trabajadores y de las personas vinculadas a esas actividades. Este parámetro se concentra en identificar y mitigar los riesgos que pueden surgir en el lugar de trabajo y sus alrededores. Se refiere al riesgo asociado a la posibilidad de que eventos peligrosos o problemas de salud puedan ocurrir en la planta, afectando tanto la seguridad de los trabajadores como la continuidad de las operaciones.
- **Medio ambiente:** Este término se refiere a la evaluación del impacto que un evento, proyecto o actividad puede tener en el entorno natural y en los recursos naturales de una determinada área. Este parámetro se centra en analizar cómo las acciones humanas pueden afectar negativa o positivamente los ecosistemas, la biodiversidad, la calidad del aire, el agua y otros elementos del medio ambiente. Este riesgo conlleva impactos negativos en el entorno natural que rodea la planta, tales como la contaminación del aire o agua, los cuales pueden generar consecuencias legales y ambientales significativas.
- **Comunidad:** Este concepto se refiere a la evaluación del impacto que un evento o situación puede tener en la comunidad circundante o en la sociedad en general. Este parámetro aborda cómo las acciones o eventos pueden afectar a las personas que residen en la zona cercana o a la población en general, considerando aspectos sociales, económicos y ambientales. Este riesgo se relaciona con la posibilidad de que las operaciones de la planta tengan repercusiones adversas en las comunidades locales, ya sea en términos sociales, económicos o culturales, lo que podría generar conflictos y desafíos significativos para la empresa.
- **Legal:** El término alude a la evaluación y consideración de los aspectos vinculados con las leyes, regulaciones y requisitos legales que pueden incidir en una acción, proyecto o situación específica. Este parámetro se centra en determinar si las actividades en cuestión cumplen con las disposiciones legales vigentes y si conllevan riesgos legales asociados. El riesgo legal se relaciona con posibles inconvenientes legales que podrían surgir debido a incumplimientos normativos, regulaciones o disputas legales que afecten las operaciones de la planta.
- **Reputación:** Este término se refiere a la evaluación y análisis del impacto que un evento, acción o situación puede tener en la imagen pública de una organización, empresa o individuo. Este enfoque busca comprender cómo dichos eventos pueden influir en la opinión y la reputación de la entidad a corto y largo plazo. Se aborda de manera específica el riesgo asociado a eventos adversos, ya sean de índole ambiental, social u otro, que puedan afectar la percepción pública de la empresa. Este fenómeno, a su vez, podría desencadenar consecuencias significativas en la reputación y las relaciones comerciales de la entidad.

En el contexto de este estudio, el foco estará en los equipos del área de molienda, específicamente los molinos SAG.

En el capítulo anterior se comentó sobre los revestimientos internos del molino SAG y lo esenciales que son para brindar protección a la coraza del molino. Debido al desgaste constante de estos componentes, se lleva a cabo el reemplazo periódico de los revestimientos mediante un proceso de cambio planificado. Esta práctica resulta fundamental para preservar la eficiencia y la integridad del molino a lo largo del tiempo. Realizar el cambio de revestimientos de un molino SAG consiste en una tarea de alto riesgo complejidad de la operación y las condiciones en las que se lleva a cabo. Los riesgos identificados dentro de esta tarea son:

- **Seguridad:** El cambio de revestimientos en un molino SAG presenta diversos riesgos para la seguridad debido a factores como la altura y el acceso, la manipulación de equipos pesados, el uso de herramientas especializadas, la exposición a sustancias peligrosas, el torque inadecuado, la falta de procedimientos y capacitación adecuados, la manipulación de cargas, las condiciones ambientales adversas y la presión de producción. Estos factores pueden contribuir a accidentes, lesiones y daños al equipo participante si no se abordan con medidas de seguridad adecuadas, capacitación del personal y una planificación meticulosa.
- **Producción:** Detener el molino SAG para un PM implica un tiempo de inactividad costoso. Minera Los Pelambres cuenta con tres líneas de producción, implicando que detener un molino SAG para su mantenimiento significa detener un tercio de la producción total, donde cada hora de detención en un molino SAG es el equivalente a un promedio de 112.525 [USD].
- **Planificación y logística:** Una planificación deficiente, la carencia de repuestos, la ausencia de herramientas, así como la falta de revestimientos y pernerías necesarios, pueden ocasionar demoras en la reanudación de la producción, generando pérdidas económicas. Si no se realiza una planificación adecuada, el proceso de cambio de revestimientos podría extenderse más allá del tiempo estimado.
- **Equipos y herramientas incorrectas:** Utilizar equipos y herramientas inadecuadas o defectuosas puede aumentar los riesgos y prolongar el proceso de cambio de revestimientos.
- **Errores de instalación:** Una instalación incorrecta de los revestimientos puede impactar negativamente en la eficiencia y seguridad del molino. Un torque inadecuado y la colocación incorrecta de los revestimientos pueden dar lugar a un desgaste prematuro o incluso causar daños al equipo.
- **Daños a los componentes internos:** Durante el proceso de cambio, es posible que se produzca daños a otros componentes internos del molino, como las bolas de molienda o las paredes del shell.

- **Problemas de calidad:** Si no se eligen revestimientos de buena calidad o si es que hay defectos en los nuevos revestimientos, esto puede afectar la eficiencia de molienda y la calidad del producto final.
- **Falta de personal calificado:** Trabajar en un molino SAG requiere experiencia y capacitación especializada. La falta de conocimientos adecuados puede aumentar los riesgos y los errores durante el proceso de cambio.
- **Impacto ambiental:** La gestión inadecuada de materiales retirados, como revestimientos antiguos, puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente. Por esta razón, es crucial llevar a cabo la eliminación de residuos peligrosos generados durante las actividades de mantenimiento. Además, la planta concentradora, al ser una zona con elevada contaminación, contribuye significativamente al deterioro medioambiental.

# Capítulo 7

## Analizar los riesgos asociados al contexto global y operacional

### 7.1 Contexto global

Se analizan los riesgos identificados en el capítulo anterior a través de un análisis FODA, donde se identifican las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

#### 7.1.1 Política

##### Fortalezas

- **Estabilidad política y económica:** Chile cuenta con una destacada estabilidad tanto política como económica, lo que lo convierte en un destino atractivo para la inversión extranjera.
- **Atractivo para la inversión:** La estabilidad mencionada abre oportunidades para inversiones significativas, especialmente en la industria minera.

##### Oportunidades

- **Desarrollo sostenible:** Las políticas gubernamentales buscan promover el desarrollo sostenible en la industria minera, lo que podría generar oportunidades para adoptar prácticas más sostenibles y amigables con el medio ambiente.
- **Innovación y competitividad:** Las políticas también fomentan la innovación, la productividad y la competitividad en la industria, lo que podría impulsar mejoras y avances en el sector.

## Debilidades

- **Rigurosas regulaciones ambientales:** La industria minera está sujeta a políticas y regulaciones ambientales rigurosas, lo que podría generar desafíos y costos adicionales en términos de cumplimiento y gestión ambiental.
- **Normativas laborales y de seguridad:** Aunque necesarias, las normativas laborales y de seguridad pueden representar desafíos para la operación eficiente y rentable de la industria minera.

## Amenazas

- **Impacto ambiental:** El énfasis en las evaluaciones continuas de impacto ambiental y las estrictas regulaciones ambientales podrían representar amenazas para la operación fluida de la industria.
- **Cambios en las políticas gubernamentales:** Cambios futuros en las políticas gubernamentales podrían afectar la forma en que opera la industria minera, generando incertidumbre y riesgos.

## 7.1.2 Económico

### Fortalezas

- **Importancia económica:** La industria minera en Chile es una fuente significativa de ingresos para el país, contribuyendo con alrededor del 14,6% al PIB y generando un 9% de los ingresos fiscales.
- **Liderazgo mundial en producción de cobre:** Chile es líder mundial en la producción de cobre, con un 27% de participación a nivel internacional, lo que lo posiciona como un actor clave en el mercado global de minerales.

### Oportunidades

- **Inversiones extranjeras:** La atractiva posición de Chile ha generado considerables inversiones extranjeras directas en la industria minera, lo que abre oportunidades para el crecimiento y la expansión.
- **Demanda de minerales estratégicos:** La transición hacia fuentes de energía más limpias, como el aumento en la demanda de litio para baterías de vehículos eléctricos, presenta nuevas oportunidades para las empresas mineras en el país.

## Debilidades

- **Dependencia de precios de commodity:** La industria minera, especialmente en el caso del cobre, está altamente influenciada por los precios de los minerales en los mercados internacionales, lo que puede generar volatilidad y desafíos económicos.
- **Rigurosos estándares ambientales y sociales:** El cumplimiento de estándares ambientales y sociales rigurosos puede representar desafíos y costos adicionales para las empresas mineras.

## Amenazas

- **Impacto de la transición energética:** La transición hacia fuentes de energía más limpias puede plantear desafíos adicionales y cambios en la demanda de minerales, afectando la operación y la rentabilidad de la industria.
- **Presión por prácticas sustentables:** La creciente demanda de prácticas mineras sustentables y socialmente responsables impone desafíos para cumplir con estándares, mitigar impactos ambientales y contribuir al desarrollo local.

## 7.1.3 Social

### Fortalezas

- **Generación de empleo:** La industria minera en Chile es una fuente significativa de empleo, con un impacto indirecto que eleva el empleo total a nivel nacional al 10%. Esto refuerza la contribución social de la industria.
- **Relaciones con comunidades:** Las inversiones en infraestructura y servicios para comunidades locales muestran un compromiso positivo de la industria minera para mejorar la calidad de vida y el desarrollo de las áreas afectadas.

### Oportunidades

- **Desarrollo de relaciones laborales:** La industria minera tiene la oportunidad de mejorar las relaciones laborales con sindicatos, reduciendo tensiones y conflictos que puedan afectar la producción.
- **Inversión en desarrollo comunitario:** Mayor inversión en proyectos que beneficien directamente a las comunidades locales, fortaleciendo así la relación y mejorando la percepción pública de la industria.

## Debilidades

- **Conflictos laborales:** La presencia de sindicatos y la posibilidad de paros laborales pueden representar debilidades en términos de estabilidad laboral y continuidad operativa.
- **Impacto ambiental:** La influencia en el medio ambiente y los recursos naturales puede ser una debilidad, especialmente si no se implementan medidas adecuadas de mitigación y sostenibilidad.

## Amenazas

- **Imagen pública:** Conflictos laborales y impactos ambientales pueden afectar la imagen pública de la industria minera, generando desconfianza y críticas de la sociedad.
- **Cambio en regulaciones:** Cambios en las regulaciones laborales, ambientales o sociales podrían representar amenazas, requiriendo adaptación rápida para cumplir con los nuevos requisitos.

### 7.1.4 Tecnológico

#### Fortalezas

- **Inversión en I+D:** La industria minera en Chile ha demostrado fortaleza al ubicarse en el tercer lugar en inversión en I+D entre los principales rubros económicos en 2017, con un total de 42 [MUSD].
- **Adopción de tecnologías emergentes:** La incorporación de tecnologías como la automatización, robótica, big data, inteligencia artificial y drones permite mejorar la eficiencia, seguridad y reducir costos en los procesos productivos.

#### Oportunidades

- **Innovación continua:** La industria minera tiene la oportunidad de continuar innovando mediante la adopción de nuevas tecnologías y herramientas de gestión, lo que puede mejorar la eficiencia, sostenibilidad y competitividad.
- **Avances en exploración:** El uso de tecnologías como la teledetección y técnicas de exploración geofísica y geoquímica pueden facilitar la identificación de nuevos yacimientos minerales, abriendo nuevas oportunidades de extracción.

## Debilidades

- **Falta de inversión en tecnologías emergentes:** La falta de inversión en nuevas tecnologías podría generar deficiencias operativas, de seguridad y ambientales, afectando la calidad de los productos y la reputación de la empresa.

## Amenazas

- **Competencia tecnológica:** La falta de adopción de nuevas tecnologías puede hacer que la industria minera chilena quede rezagada en comparación con competidores que sí invierten en innovación, afectando su competitividad.
- **Impacto ambiental y reputación:** La falta de tecnologías para la gestión de residuos y la adopción de fuentes de energía más limpias podría afectar la sostenibilidad y la reputación de la industria, especialmente en un contexto de creciente conciencia ambiental.

## 7.1.5 Ambiental

### Fortalezas

- **Procesos rigurosos de evaluación ambiental:** La industria minera en Chile cuenta con procesos frecuentes de EIA, lo que fortalece la evaluación de impactos ambientales y establece medidas de mitigación y compensación correspondientes.
- **Enfoque en sostenibilidad:** La búsqueda de nuevas formas de garantizar la sostenibilidad de los recursos, como la disminución en la extracción de agua de fuentes continentales y la promoción de la reutilización y recirculación de recursos hídricos, demuestra un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad ambiental.

### Oportunidades

- **Innovación en sostenibilidad:** La industria minera tiene la oportunidad de continuar innovando en prácticas sostenibles, aprovechando las tendencias actuales hacia la sostenibilidad y la creciente demanda de prácticas mineras responsables.
- **Reputación y relaciones comunitarias:** Adoptar prácticas ambientales responsables puede mejorar la reputación de la industria y fortalecer las relaciones con las comunidades locales.

## Debilidades

- **Impacto en operaciones sin medidas ambientales:** La falta de aplicación de medidas ambientales adecuadas puede tener consecuencias negativas en términos de salud, medio ambiente y relaciones comunitarias, afectando la viabilidad a largo plazo de las operaciones mineras.

## Amenazas

- **Consecuencias negativas por falta de medidas ambientales:** La falta de adopción de prácticas ambientales responsables puede resultar en consecuencias negativas, como sanciones legales, daño a la salud y al medio ambiente, y la pérdida de apoyo de las comunidades locales.
- **Cambios en la legislación ambiental:** Cambios en la legislación ambiental podrían aumentar la presión sobre la industria minera para cumplir con estándares más estrictos, lo que podría generar desafíos adicionales.

## 7.1.6 Legal

### Fortalezas

- **Normativas laborales claras:** La industria minera en Chile se beneficia de normativas laborales claras y específicas, como el Código del Trabajo y la Ley de Subcontratación, que establecen derechos y deberes tanto para trabajadores como para empleadores.
- **Enfoque ambiental riguroso:** La rigurosa legislación ambiental, que incluye evaluaciones de impacto ambiental (EIA) y la Ley General de Medio Ambiente, fortalece la gestión ambiental en la industria minera, promoviendo prácticas responsables.

### Oportunidades

- **Seguridad laboral y prevención de riesgos:** La regulación de seguridad a cargo del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) ofrece oportunidades para mejorar la seguridad laboral y prevenir accidentes mediante la implementación de estándares de seguridad más eficientes y avanzados.

## Debilidades

- **Desafíos para nuevas empresas:** La rigurosa normativa legal y ambiental puede representar un desafío para la entrada y el crecimiento de nuevas empresas mineras, ya que deben cumplir con estándares elevados y requisitos exigentes desde el inicio.

- **Posible impacto en costos:** El cumplimiento de estándares legales y ambientales puede aumentar los costos operativos para las empresas mineras, especialmente para aquellas que no estén bien establecidas.

## Amenazas

- **Sanciones legales y suspensión de operaciones:** El incumplimiento de las regulaciones legales y ambientales puede dar lugar a sanciones legales, multas y la suspensión de operaciones mineras, lo que representa una amenaza significativa para las empresas que no cumplen con los estándares establecidos.
- **Impacto de cambios legales:** Cambios en la legislación o la introducción de nuevas regulaciones podrían generar desafíos adicionales y afectar la operación normal de las empresas mineras.

## 7.2 Contexto operacional

Conforme a los riesgos identificados y al informe de criticidad de la planta concentradora de MLP, se analizan y establece nivel de impacto en la operación de la planta concentradora:

- **Proyectos y operaciones**

Tabla 7.1: Impacto en proyecto y operaciones (Pelambres, 2023).

| Nivel<br>- | Proyectos |       |        |        | Operaciones |            |
|------------|-----------|-------|--------|--------|-------------|------------|
|            | CAPEX     | OPEX  | Plazo  | NPV    | EBITDA      | Producción |
| <b>1</b>   | <3%       | <1%   | <5%    | <5%    | <5%         | <1%        |
| <b>2</b>   | 3-8%      | 1-3%  | 5-10%  | 5-10%  | 5-10%       | 1-3%       |
| <b>3</b>   | 8-15%     | 3-5%  | 10-20% | 10-20% | 10-20%      | 3-6%       |
| <b>4</b>   | 15-20%    | 5-10% | 20-30% | 20-50% | 20-50%      | 6-15%      |
| <b>5</b>   | >20%      | >10%  | >30%   | >50%   | >50%        | >15%       |

- **Seguridad y salud ocupacional**

Tabla 7.2: Impacto a seguridad y salud ocupacional (Pelambres, 2023).

| Nivel | Seguridad y Salud Ocupacional  |
|-------|--|
| 1     | Accidente o enfermedad ocupacional menor, sin tiempo perdido que no requiere tratamiento médico  |
| 2     | Accidente o enfermedad ocupacional menor, sin tiempo perdido, requiere tratamiento médico        |
| 3     | Accidente con tiempo perdido o enfermedad ocupacional con incapacidad permanente <40%            |
| 4     | Accidente o enfermedad ocupacional que causa una fatalidad o incapacidad permanente >40%         |
| 5     | Accidente o enfermedad ocupacional que causa múltiples fatalidades o incapacidad permanente >40% |

- Medio ambiente

Tabla 7.3: Impacto a medio ambiente (Pelambres, 2023).

| Nivel | Medio ambiente   |
|-------|--|
| 1     | Impacto ambiental limitada y reducida con baja significancia ambiental y fácil de reparar  |
| 2     | Impacto ambiental menor, localizado y reversible en el corto plazo   |
| 3     | Impacto ambiental moderado, con efectos en el corto plazo y reversible naturalmente  |
| 4     | Daño ambiental reversible, con efectos por mediano plazo en área extensa, que requiere acciones de remediación. Puede afectar el permiso ambiental vigente |
| 5     | Daño ambiental irreversible, con efectos por largo plazo en área extendida. Puede afectar el permiso ambiental vigente                                     |

- Comunidad

Tabla 7.4: Impacto a comunidades (Pelambres, 2023).

| Nivel | Comunidad  |
|-------|--|
| 1     | Incidente leve que no sea percibido por la comunidad y no afecte su calidad de vida  |
| 2     | Incidente leve que afecte a una localidad sin daño a la calidad de vida de las personas y sin irrupciones de la comunidad. Efectos negativos entre relación empresa, comunidad, reversible CP                                  |
| 3     | Incidente leve que afecte a una localidad con daño moderado a la calidad de vida de las personas. Irrupción de conflictos sociales. Efectos negativos entre relación empresa comunidad, reversible MP                          |
| 4     | Incidente mayor que afecte a una localdiad con daño serio a la calidad de vida de las personas. Irrupción de conflictos sociales que detengan la operación. Efectos negativos entre relación empresa comunidad, reversible LP. |
| 5     | Incidante grave que afecte una localdiad con daño severo o irreversible a la calidad de vida de las personas. Irrupción de conflictos sociales que detengan la operación, pérdida de licencia social para operar               |

- Legal

Tabla 7.5: Impactos legales (Pelambres, 2023).

| Nivel | Legal   |
|-------|---|
| 1     | Transgresiones o incumplimientos normativos que, se estima, no dará lugar a sanciones monetarias  |
| 2     | Transgresiones o incumplimientos normativos que, se estima, pueden dar lugar a una sanción o resultado adverso inferior a un 0,05% del EBITDA   |
| 3     | Transgresiones o incumplimientos normativos que, se estima, pueden dar lugar a una formalización penal o a una sanción o resultado adverso entre un 0,05% y un 3% del EBITDA  |
| 4     | Transgresiones o incumplimientos normativos que, se estima, pueden dar lugar a una condena penal, sanción o resultado adverso superior a un 3% y hasta un 20% del EBITDA  |
| 5     | Transgresiones o incumplimientos normas anticorrupción (de la ley 20.393, Antibribery Act o similar) o de libre competencia; u otras transgresiones o incumplimientos normativos que, se estima, pueden dar lugar a una revocación, pérdida de los permisos para operar, sanción o resultado adverso superior al 20% del EBITDA |

- Reputación

Tabla 7.6: Impacto a reputación (Pelambres, 2023).

| <b>Nivel</b> | <b>Reputación</b>  |
|--------------|--|
| <b>1</b>     | Reclamos sin fundamentos que no lleguen a los medios de comunicación formales  |
| <b>2</b>     | Reclamos moderados y titulares noticieros negativos de alcance nacional por periodo de corto plazo                         |
| <b>3</b>     | Reclamos moderados y titulares noticieros negativos repetitivos de alcance nacional por periodo de mediano plazo           |
| <b>4</b>     | Afectación alta de la reputación nacional y de credibilidad institucional de la empresa con efectos por mediano plazo      |
| <b>5</b>     | Afectación severa de la reputación internacional y de credibilidad institucional de la empresa con efectos por largo plazo |

Por otro lado, se evalúa la probabilidad de que el impacto ocurra utilizando la tabla de probabilidad. La probabilidad variará según la efectividad de los controles existentes y la situación actual.

Tabla 7.7: Probabilidad (Pelambres, 2023).

| <b>Nivel</b>                   | <b>Probabilidad</b>          |   |
|--------------------------------|------------------------------|---|
|                                | <b>Cuantitativo</b>          | <b>Cualitativo</b>  |
| <b>Muy poco probable<br/>1</b> | Una o dos veces cada 50 años | Sólo en circunstancias extremas   |
| <b>Poco probable<br/>2</b>     | Una o dos veces cada 10 años | No ha sucedido pero podría suceder  |
| <b>Posible<br/>3</b>           | Una o dos veces al año       | Podría suceder y ha sucedido en condiciones similares aquí o en otras compañías |
| <b>Probable<br/>4</b>          | Una vez al mes o más         | Podría suceder fácilmente y ha ocurrido generalmente en condiciones similares   |
| <b>Casi cierto<br/>5</b>       | Una vez a la semana          | Pasa a menudo   |

En el marco del cambio de revestimientos del molino SAG, y con tal de clasificar y categorizar los riesgos, se usará la herramienta mnemotécnica de las 6M's, que implica encasillar estos riesgos en aspectos relacionados a la mano de obra, materiales, máquinas, métodos, medio ambiente y mediciones. Mayor información de esta herramienta, se encuentra disponible en el anexo D.

# Capítulo 8

## Evaluar y jerarquizar riesgos

### 8.1 Contexto global

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo anterior, es que se evalúan y jerarquizan los riesgos que pueden afectar al contexto global de la minería en Chile. Si se toma de manera particular el propósito de MLP de *”ser la minera más segura y productiva del mundo”*, la jerarquización queda de la siguiente manera:

1. **Prevención de riesgos y prácticas sostenibles:** Enfocarse en la prevención de riesgos laborales y prácticas sostenibles.
2. **Estabilidad política y económica:** Las fortalezas en estabilidad política y económica son esenciales y deben mantenerse con tal de operar sin interrupciones.
3. **Innovación y seguridad:** Priorizar inversiones en tecnologías y herramientas de gestión con tal de mejorar la seguridad y productividad.
4. **Generación de empleo y desarrollo de relaciones laborales:** Priorizar aspectos sociales para fortalecer la relación con los trabajadores y comunidades.
5. **Innovación y automatización:** En el ámbito tecnológico, enfocarse en la innovación y la adopción de tecnologías avanzadas.
6. **Prácticas sostenibles y tecnologías ambientales:** Abordar temas ambientales mediante prácticas sostenibles y tecnologías para mitigar impactos.
7. **Cumplimiento legal y adaptabilidad:** Garantizar el cumplimiento legal y la adaptabilidad a posibles cambios normativos.

Como se evaluó, la jerarquización está enfocada en alcanzar el objetivo primordial de ser la minera más segura y productiva del mundo. Se destaca la importancia crucial del cumplimiento de altos estándares en seguridad, innovación, relaciones laborales sólidas, tecnología y prácticas sostenibles. La identificación y control de estos riesgos son fundamentales, ya que cualquier fallo en este aspecto podría resultar en pérdida de competitividad, confiabilidad e integridad operacional para MLP y para las grandes mineras.

## 8.2 Contexto operacional

Después de identificar y analizar los riesgos que podrían incidir en la operación de la planta concentradora, se lleva a cabo una evaluación de su impacto considerando la probabilidad. Los riesgos son clasificados en cuatro categorías: extremo, alto, medio y bajo, basándose en su potencial afectación a los equipos de la planta concentradora.

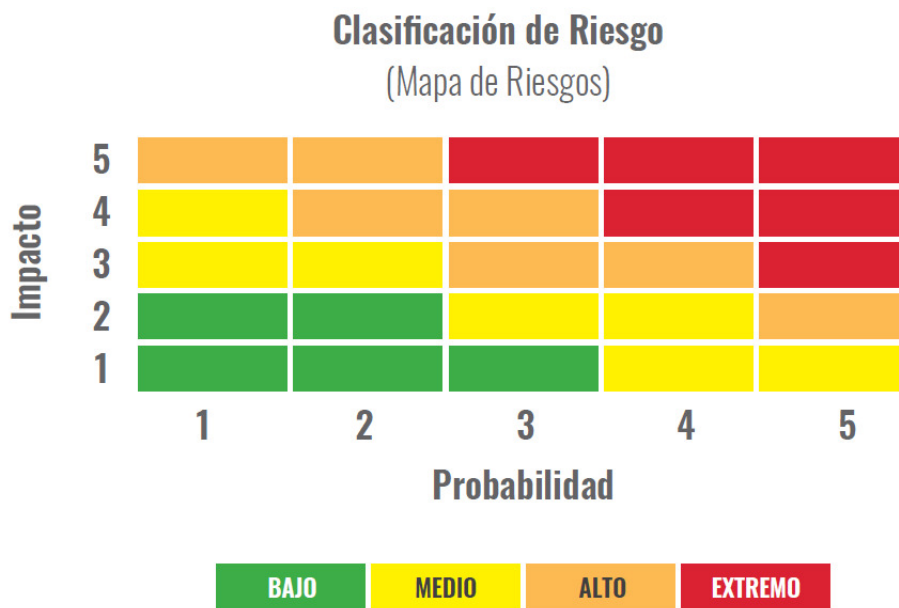


Figura 8.1: Matriz de clasificación de riesgos (Pelambres, 2023).

De acuerdo a los valores obtenidos del informe desarrollado por el personal de MLP, es que se obtuvo la siguiente matriz de criticidad para el área de molienda:

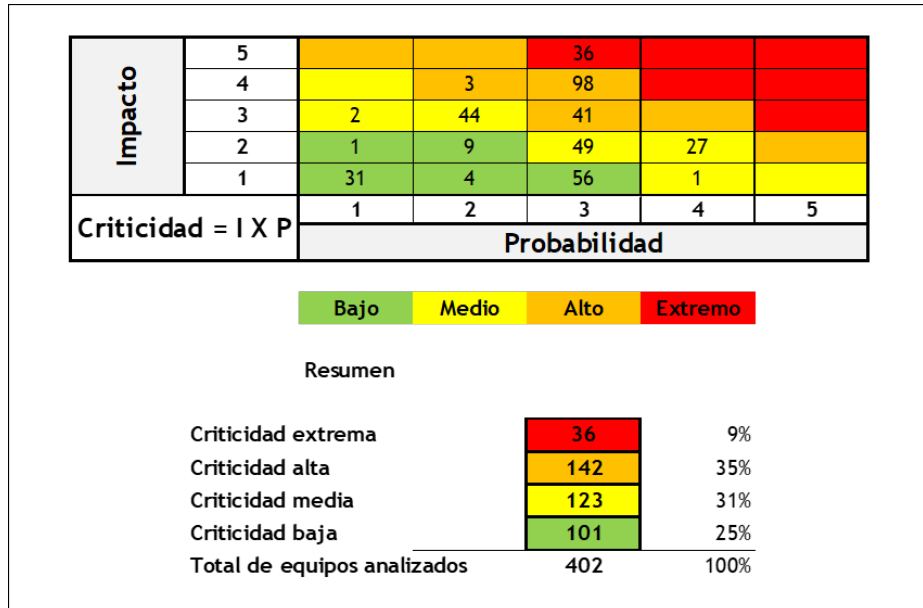


Figura 8.2: Resumen de equipos críticos (Pelambres, 2023).

Dentro de la lista de equipos que se categorizan como extremadamente críticos (ver en anexos figura H), es que se encuentran los molinos SAG línea 1 (ML0001), SAG línea 2 (ML0002) y SAG línea 3 (320ML704), donde su mayor riesgo corresponde a términos de operación (EBITDA o producción).

En el ámbito de la tarea de cambio de revestimiento de los molinos SAG, se procedió a vincular sus riesgos con las 6M's con el fin de evaluar y jerarquizar las posibles desviaciones que puedan surgir. El resultado de esta asociación se presenta de la siguiente manera:

### 1. Seguridad

- Mano de obra (Falta de personal calificado, errores humanos)
- Máquinas (Equipos y herramientas incorrectas)
- Medio ambiente (Impacto ambiental)

### 2. Producción

- Máquinas (Daños a componentes internos)

### 3. Planificación y logística

- Mano de obra (Falta de personal calificado)
- Métodos (Errores de instalación)
- Medio ambiente (Problemas de calidad)

#### **4. Equipos y herramientas incorrectas**

- Máquinas (Máquinas inadecuadas)
- Medición (Errores de calibración herramientas)

#### **5. Errores de instalación**

- Mano de obra (Errores humanos)
- Métodos (Procedimientos inadecuados)

#### **6. Daños a componentes internos**

- Máquinas (Integridad de las máquinas)
- Materiales (Calidad de los materiales)

#### **7. Problemas de calidad**

- Materiales (Calidad de los materiales)

#### **8. Falta de personal calificado**

- Mano de obra (Falta de habilidades y conocimientos)

#### **9. Impacto ambiental**

- Medio ambiente (Condiciones ambientales adversas)

Lo descrito anteriormente se puede visualizar a través del siguiente diagrama:

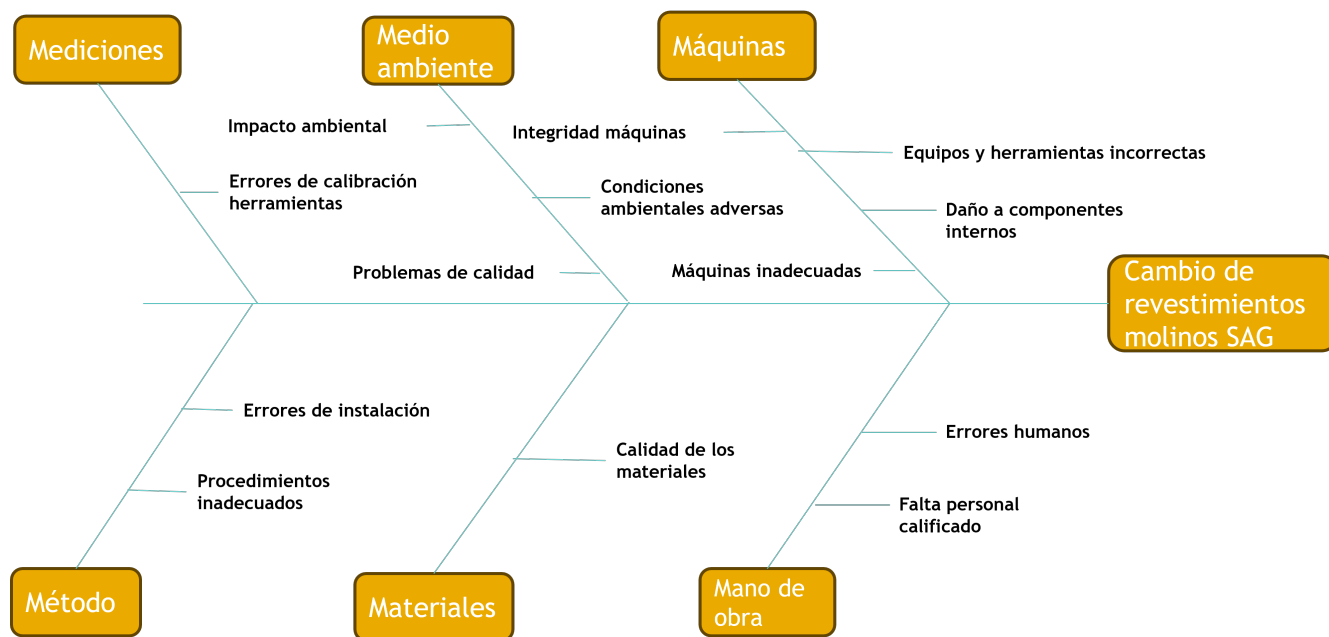


Figura 8.3: Diagrama de Ishikawa (elaboración propia).

De esta manera, dentro de los riesgos que pueden generar mayor impacto a la tarea de cambio de revestimientos y que afectan a la operación de los molinos SAG corresponden a **la seguridad, la producción y la planificación en conjunto a la logística.**

En síntesis, la minería en Chile constituye un elemento fundamental según los aspectos previamente examinados. Esta actividad puede enfrentar influencias externas que generan tanto oportunidades como amenazas para su operación. En el marco del proceso productivo, el molino SAG emerge como un equipo extremadamente crítico. Se reconoce su impacto en la producción, seguridad, calidad del producto e integridad del proceso. Dada la magnitud de su influencia y con el objetivo de asegurar competitividad, confiabilidad e integridad operativa, se lleva a cabo la renovación de sus revestimientos. Es crucial destacar que esta tarea conlleva riesgos significativos, especialmente en términos de seguridad, producción y logística.

Con base en la información revisada y analizada, se busca estudiar la factibilidad de implementar la herramienta de trabajo estandarizado en el mantenimiento de los molinos SAG. Este enfoque busca aumentar la confiabilidad, eficiencia y seguridad de las operaciones, aportando de manera directa a la integridad operacional y la productividad global de la planta concentradora de MLP. Esta iniciativa busca facilitar la ejecución de tareas, hacer que estas sean más seguras y mejorar su calidad.

# Capítulo 9

## Análisis de puntos débiles de equipos críticos

De acuerdo al capítulo anterior y en el marco del desarrollo del modelo de gestión de activos y mantenimiento, se realizará un análisis de los puntos débiles de los equipos críticos. Particularmente, dentro del contexto en que se desenvuelven los molinos SAG, sus componentes más débiles corresponden a:

- Revestimientos internos
- Pernos de revestimientos
- El sistema de lubricación de los cojinetes
- Sistema de lubricación de reducción/carga del acumulador
- Frenos calibradores del molino SAG
- Unidad hidráulica de los frenos del molino SAG
- Cojinetes
- Canaleta de carga
- Motor de accionamiento del molino
- Rejillas del extremo de descarga
- Sello del extremo de carga y descarga
- Sujetadores

Sumado a esto, la data histórica de MLP obtenida de R-MES, indica los modos de falla más frecuentes que presentan los molinos SAG en MLP:

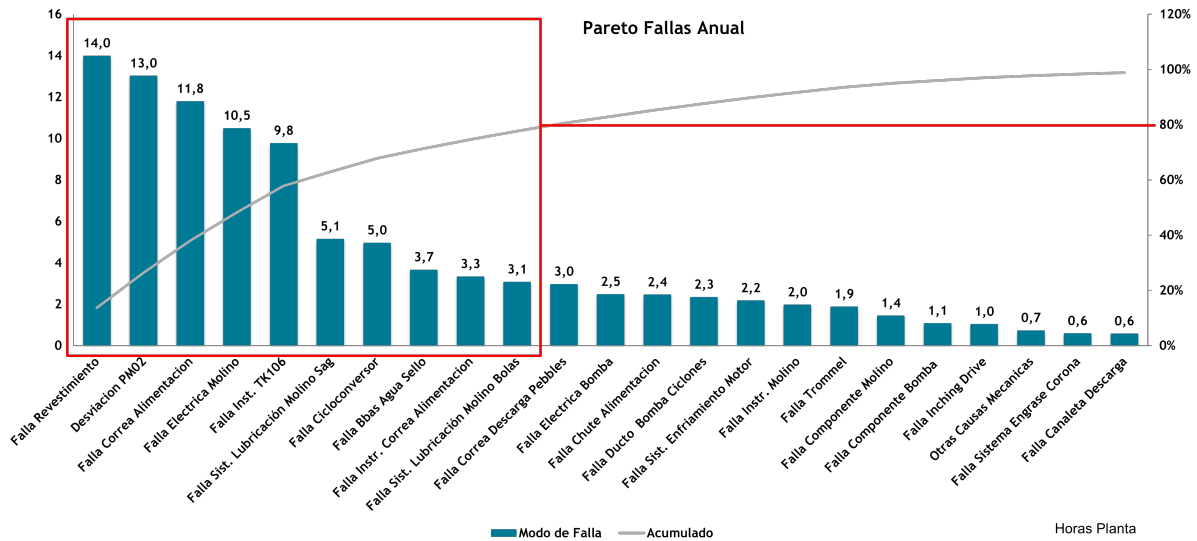


Figura 9.1: Análisis de Pareto modos de falla 2022 (Pelambres, 2023).

En la figura 9.1 se evidencia que, en el año 2022, los modos de falla más recurrentes y persistentes en el área de molienda primaria se relacionaron con fallos en el revestimiento y desviaciones en las PM02 (mantenciones programadas), consumiendo 14 y 13 [hr] planta, respectivamente.

En cuanto a las posibles causas de fallo en los revestimientos, se destacan las siguientes:

- El molino está girando sin alimentar material extraído a su interior.
- La tasa de alimentación al molino es insuficiente para mantener un lecho de material en el molino.
- La carga de bolas excede la especificación de diseño.
- La velocidad rotacional del molino no coincide con la tasa de alimentación.
- La metalurgia del revestimiento difiere de las especificaciones de diseño.

Por otra parte, en términos de desviaciones en las PM02, tomando como caso particular el cambio de revestimientos de los molinos SAG, las posibles causas podrían atribuirse a:

- Eventos de seguridad ocurridos durante la ejecución de la actividad de mantenimiento (cuasi-accidentes, lesiones graves, accidentes de alto potencial, accidentes graves).

- Mala instalación de sellos en pernos de fijación, torque inadecuado de pernos de fijación del revestimiento a la carcasa, herramientas de torque controlado sin calibrar y mantenimiento deficiente de equipos asociados a la tarea (máquina lainera y grúa horquilla).
- Falta de repuestos, herramientas y pernería asociada al revestimiento.

La tarea de mantenimiento preventivo relacionada con las dos fallas más recurrentes mencionadas previamente se identifica como "cambio de revestimiento en molinos SAG". Este aspecto será examinado y analizado en el próximo apartado de este escrito.

# Capítulo 10

## Diseño de plan de mantenimiento y recursos necesarios

La actividad de mantenimiento programado, denominada "cambio de revestimientos de molinos SAG", implica extraer y reemplazar las placas protectoras internas del molino con nuevas durante las mantenciones mayores o paradas de planta, realizadas cada seis meses. Esta tarea es llevada a cabo por una empresa contratista (E.E.C.C) específicamente para el cambio de revestimientos del molino SAG. Se requiere un equipo de aproximadamente 50 a 55 personas por turno para llevar a cabo esta operación, durante la cual se sustituyen alrededor de 261 piezas de acuerdo con las especificaciones de los molinos SAG de MLP. La programación, establecida mediante un diagrama de Gantt, abarca de 75 a 85 [hr], desde la parada y bloqueo del molino SAG hasta su posterior puesta en marcha.

### 10.0.1 Roles y responsabilidades

Los roles principales que se encuentran dentro del desarrollo de esta tarea son los siguientes:

- **Supervisor:** Es el encargado de supervisar la ejecución de las labores y asegurar la adherencia a los procedimientos establecidos. Mantiene una comunicación constante con el personal a cargo de la ejecución física de las tareas. Este profesional determina la fuerza laboral requerida para cada actividad de acuerdo con las directrices predefinidas.

Asimismo, se encarga de verificar la calidad de las labores realizadas, garantizando el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad establecidos. Evalúa la competencia y adecuación de los integrantes del equipo de trabajo, garantiza la disponibilidad de repuestos, insumos y herramientas necesarios para cada tarea y gestiona la solicitud y aprobación de los permisos de trabajo. Además, informa de manera oportuna la finalización de dichos permisos.

- **Prevencionista:** Este profesional tiene la responsabilidad de impartir y poner en práctica los estándares de seguridad y calidad establecidos por el cliente. Asimismo, se desempeña como el responsable técnico encargado de aplicar y garantizar el cumplimiento de la legislación de seguridad actual y pertinente.
- **Torchador:** La persona designada para llevar a cabo estas tareas debe contar con certificaciones específicas, incluyendo la certificación para trabajos en caliente y haber aprobado una batería de exámenes para trabajos en espacios confinados. Su responsabilidad principal es realizar diversas operaciones en los revestimientos y pernos utilizando un equipo especializado y varillas de torch, como cortar, biselar y perforar.

Durante estas operaciones, es esencial que la persona utilice un traje de cuero completo diseñado para el torchado, así como filtros para humos metálicos y gases, y una careta de soldar Normal para garantizar su seguridad y protección. Además de estas tareas específicas, también se encarga de actividades adicionales, como el traslado de insumos y la instalación de equipos, como extractores.

Antes de comenzar con las operaciones de torchado, se llevan a cabo una serie de verificaciones y pruebas de equipos. Esto incluye la realización de pruebas en la red de incendio, asegurando el correcto funcionamiento de la manguera y la pitón. Además, se realiza el traslado de cajas de oxicut, se conecta el extractor de aire y se realizan pruebas de funcionalidad. También se verifica y conecta las mangueras de torch, se instala la red húmeda y se coloca extintores estratégicamente.

Además, es importante realizar revisiones periódicas de los puntos de red húmedas para asegurarse de que estén operativas. También se debe garantizar un adecuado stock de cajas de torch para no interrumpir el proceso de trabajo. En resumen, la persona a cargo de estas tareas no solo realiza las operaciones de torchado, sino que también desempeña un papel integral en la preparación y mantenimiento de los equipos y sistemas asociados, contribuyendo así a un entorno de trabajo seguro y eficiente.

- **Mecánico:** El mecánico encargado de cambios de revestimientos en molinos debe tener experiencia, conocimiento profundo de herramientas y conciencia de riesgos para garantizar la seguridad del personal. Debe ejecutar trabajos solo cuando esté capacitado, realizando un análisis exhaustivo y control de riesgos antes, durante y después de las labores. Utilizará herramientas de control de riesgo, como el Análisis de Riesgos del Trabajo (ART) y el Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo con controles críticos. Verificará que los equipos y herramientas estén en buen estado a través de check lists, utilizando solo herramientas cuyo uso seguro conozca.

Se le da la facultad de detener trabajos riesgosos y se espera que evite exponerse a la Línea de Fuego y zonas de desplazamiento de equipos. El trabajador en el molino debe seguir procedimientos específicos, operar solo equipos calificados, y abstenerse de prácticas negligentes.

El mecánico aplicará el procedimiento de trabajo, cuidará de los bienes de la empresa y mantendrá orden y limpieza en los lugares asignados. En casos de cuasi-accidentes, informará al supervisor para tomar medidas necesarias en los plazos establecidos. Estas directrices respaldan la seguridad personal y contribuyen al mantenimiento eficiente y seguro de las operaciones en el molino.

- **Señalero:** La persona a cargo desempeña un papel crucial en la restricción del acceso al área, coordinando el tráfico tanto de personal como de equipos móviles, como la máquina lainera y la grúa horquilla. Además, se encarga de mantener delimitadas las zonas de trabajo mediante barreras físicas y tarjetas de cierre perimetral que contienen información relevante sobre el supervisor a cargo del trabajador.

En el caso específico de la grúa horquilla, el señalero debe asegurarse de mantener una distancia mínima de 6 [m] si la grúa está operando en una zona segregada, cumpliendo con los controles críticos establecidos en la estrategia de control.

Esta persona también asume la responsabilidad de verificar la correcta identificación y limpieza de los revestimientos que ingresan al molino. Además, lleva a cabo la inspección de la pernería, asegurándose de que cumpla con los estándares establecidos, como la ausencia de óxido, la presencia de fundas de cartón en los hilos de los pernos y la limpieza general.

- **Operador máquina lainera:** El operador de la máquina lainera tiene la responsabilidad de cumplir y hacer cumplir los estándares de riesgos de fatalidades transversales. Para desempeñar esta función, es necesario que cuente con la certificación o acreditación correspondiente para operar la máquina enlainadora y disponga de las herramientas de gestión asociadas a esta labor. Debe observar y cumplir las disposiciones establecidas en el procedimiento de trabajo de la tarea, aportando con sugerencias para mejoras.

Es fundamental que el operador comunique cualquier anomalía detectada antes, durante y después de la ejecución del cambio de revestimiento al supervisor directo. Asimismo, debe llevar a cabo una revisión exhaustiva de la máquina enlainadora utilizando el formato de inspección, generando un informe y entregando la máquina enlainadora antes y después de su utilización. Los resultados de estas inspecciones deben ser reportados al supervisor en terreno.

Durante la ejecución del trabajo, el operador debe adherirse al estándar descrito en el manual de operaciones proporcionado en la certificación. Debe prevenir y controlar los riesgos

existentes, aplicar secuencias y controles críticos para la instalación y el retiro de la máquina enlainadora. Además, es su responsabilidad garantizar el cuidado del equipo a su cargo, incluyendo el Equipo de Protección Personal y la máquina enlainadora. Mantener el orden y la limpieza sobre la viga principal de la máquina enlainadora es esencial y debe colaborar con el mecánico asignado a la operación del carro transportador para lograr este objetivo.

En el desempeño de sus funciones, el operador debe trabajar en conjunto con el observador asignado al interior del molino. Este observador tiene la responsabilidad de controlar los movimientos y el posicionamiento de los trabajadores de acuerdo con la secuencia de trabajo establecida. Además, debe retirar a cualquier trabajador no autorizado o que se encuentre en una zona de riesgo debido a los movimientos de brazos para el izaje de piezas o al desplazamiento del carro.

Obligatoriamente, el operador debe operar la máquina desde el radio de control remoto. En caso de que esta condición no se cumpla, debe informar al supervisor, quien a su vez comunicará la restricción y solicitará una evaluación y autorización por parte de los jefes de área.

- **Armador:** Este rol implica colaborar estrechamente con el operador lainera, brindando apoyo en la manipulación de piezas y el posicionamiento de los trabajadores según la secuencia de trabajo establecida. Asimismo, tiene la responsabilidad de controlar y retirar a cualquier trabajador que no esté autorizado o que se encuentre en una zona de riesgo o línea de fuego debido a movimientos de brazos de la lainera, izaje de revestimientos, fallos en el equipo o desplazamientos del carro.

Para llevar a cabo estas tareas de manera segura, se espera que utilice un chaleco de alta visibilidad, casco aluminizante y un silbato para alertar al operador y al personal autorizado sobre cualquier riesgo o peligro potencial causado por una ubicación inapropiada o falta de comunicación dentro del molino. Además, es crucial garantizar la correcta aplicación del protocolo de instalación de pernos.

En relación con el armador exterior del molino, su función principal es respaldar los movimientos de herramientas y asegurar la adherencia al protocolo de manejo e instalación de pernos. También debe coordinar el posicionamiento de los trabajadores de acuerdo con la secuencia de trabajo establecida y tomar medidas para controlar y retirar a cualquier trabajador no autorizado o en zona de riesgo. La realización de un checklist de control de torque es esencial, y ambos (armador interior y exterior) deben velar por la implementación efectiva de los principios preventivos y estándares de control de fatalidades. Cualquier anomalía detectada antes, durante o después de la ejecución del mantenimiento debe comunicarse de inmediato al supervisor directo.

- **Operador grúa horquilla:** Este rol está destinado a individuos que posean las competencias necesarias y requeridas para la tarea, respaldadas por una licencia interna otorgada por la empresa mandante, específica para la operación de la grúa horquilla. Previo al inicio de los trabajos de cambio de revestimiento, el operador tiene la responsabilidad de llevar a cabo una revisión exhaustiva del equipo, asegurándose de su correcto funcionamiento.

El procedimiento que debe seguir incluye la ejecución de la rutina de chequeo del equipo y el llenado del checklist designado para la grúa horquilla. La operación de este equipo debe ajustarse rigurosamente al instructivo específico de la grúa horquilla. Es imperativo que el operador siga las indicaciones proporcionadas por el mecánico porta coraza, se desplace únicamente en áreas predefinidas y mantenga comunicación constante con el señalero. Para facilitar esta comunicación, se requiere que el operador utilice un radio con frecuencia interna.

## 10.0.2 Secuencia de mantenimiento

Para poder realizar un cambio de revestimientos de un molino SAG, se deben seguir principalmente las siguientes secuencias:

1. **Preparación:** Antes de comenzar el cambio de revestimiento, se debe planificar cuidadosamente la operación. Esto incluye asegurarse de que se cuente con el equipo y las herramientas necesarias, y que se tenga un enfoque en la seguridad del personal involucrado.
2. **Energía cero:** Es importante que el molino SAG se encuentre totalmente detenido y desenergizado para asegurar la seguridad de los trabajadores durante el cambio de revestimiento. Tras el bloqueo del molino, se procede con la inspección del nivel de carga y la evaluación de los revestimientos, en caso de que alguno esté quebrado. Una vez completada esta etapa, se retiran las protecciones del molino para llevar a cabo la intervención necesaria.
3. **Retiro del chute de alimentación:** Se retira chute de alimentación, ingresan los trabajadores con trajes antiesquirlas a realiza la medición de los gases interiores , posterior se colocan mantas ignífugas para evitar estallido de bolas, y se traslada e ingresa la máquina lainera aplicando los controles críticos asociado a movimiento de equipos, cuidando la segregación de las áreas y el uso de guantes dieléctricos para la conducción de cable de alimentación de lainera.
4. **Torchado:** Durante esta fase, se lleva a cabo el corte de revestimientos y pernos mediante la generación de un arco eléctrico entre un electrodo de grafito y el metal base. El material fundido resultante se elimina mediante un flujo de aire externo. Este método se muestra altamente eficaz para realizar el corte de revestimientos, preparándolos para su posterior botado.

5. **Botado:** En una primera fase, se procede al retiro de las tuercas utilizando una llave neumática o, en caso de estar agripadas, mediante el corte con equipo oxicorte. Este proceso sigue una secuencia específica, en concordancia con la disposición de la tuerca de seguridad. Una vez que las tuercas han sido retiradas, se utiliza martillos hidráulicos, neumáticos o macetas para llevar a cabo la extracción de los pernos antiguos desde el exterior hacia el interior. Este procedimiento permite abrir espacio para llevar a cabo la limpieza del molino SAG.
6. **Limpieza:** Consiste en la extracción de los revestimientos antiguos del interior del molino mediante el empleo de la máquina lainera y su carro, que facilita el traslado de los revestimientos y pernerías antiguos para su posterior retiro mediante la grúa horquilla. Este proceso puede involucrar la remoción de pernos, placas y otros elementos que aseguran la fijación de los revestimientos. Una vez que los revestimientos antiguos han sido retirados, se lleva a cabo una limpieza minuciosa del interior del molino, eliminando cualquier residuo y asegurando una superficie impecable para la instalación de los nuevos revestimientos.
7. **Montaje:** Con la ayuda de la grúa horquilla, se colocan estratégicamente los nuevos revestimientos sobre el carro de la máquina lainera para ser trasladados al interior del molino. La máquina lainera toma con precisión los revestimientos y los sitúa en las posiciones adecuadas dentro del molino. Estos revestimientos se ajustan cuidadosamente utilizando un perno guía que facilita su correcto posicionamiento. Una vez logrado el calce de los revestimientos se procederá a instalar los pernos y torquarlos.
8. **Torque:** En esta etapa se realiza el torque controlado de pernos con una llave electrónica Power foccus REVO 6000/ 8000. El valor de torque será entregado una vez que personal encargado de la llave realice las pruebas y calibración de las llaves, arrojando un valor aproximado de torque para el molino SAG, para así llegar a la tensión requerida. La calibración de cada llave de torque se debe realizar una vez que termine el giro quedando respaldado con documento de protocolos de calibración de llaves.
9. **Giro:** Tras la instalación de los nuevos revestimientos, la máquina lainera es retirada del interior del molino. Una vez fuera, se procede a girar el molino SAG para permitir el cambio de los revestimientos restantes pendientes. Se vuelve a insertar la máquina lainera, llevando a cabo operaciones como el torchado, botado, limpieza, montaje y torquado de los revestimientos y pernos, repitiendo estas acciones según sea necesario.
10. **Instalación de chute de alimentación:** Tras el completo cambio de los revestimientos del molino SAG, se procede al retiro definitivo de la máquina lainera, marcando el inicio de la instalación del chute de alimentación. Durante esta fase, se realiza el sellado del chute con poliuretano (espuma) entre la caja intermedia y el chute móvil. Luego, se reinstalan las

protecciones necesarias antes de llevar a cabo la retirada, traslado, organización y almacenamiento de las herramientas, materiales e insumos utilizados.

Una vez concluidas estas tareas, se procede al retiro del personal participante, permitiendo así el desbloqueo del equipo. Este proceso marca la culminación de la operación y asegura la preparación adecuada del molino SAG para su próxima fase de operación.

11. **Desbloqueo molino SAG:** Una vez completado el proceso de desbloqueo de todo el personal, se procede al desbloqueo del molino SAG. Una vez que se confirma la condición favorable, se lleva a cabo la puesta en marcha del molino, reiniciando así su operación normal.

### **10.0.3 Herramientas, equipos y recursos necesarios**

En primer lugar, es importante contar con los Elementos de Protección Personal (EPP's), pues su uso es indispensable y de carácter obligatorio, ya sea participando de forma directa en la actividad de mantenimiento como de manera indirecta. Los EPP's básicos requeridos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 10.1: Elementos de Protección Personal Básicos (FLS, 2023).

| <b>E.P.P.</b>  | <b>Observación</b>   |
|--|--|
| Casco de seguridad; protector auditivo tipo fono   | El equipo debe poseer sello de calibración y ajuste vigente.                         |
| Protector auditivo tipo fono   | Con protección lateral para polvo y nieblas. Sin ralladuras y con buena visibilidad. |
| Lentes de seguridad  | En buen estado.  |
| Pantalones de Kevlar (lo ocupa solo el personal de planta al intervenir molino según programa semanal) | En buen estado.  |
| Traje antiesquirlas (para ingreso a colocar carpa y realizar giros).                                   | En buen estado.  |
| Overol o buzo mecánico   | En buen estado. Sin rajaduras.   |
| Guantes de Activex X5  | En buen estado.  |
| Calzado de seguridad   | En buen estado.  |
| Careta facial de rejilla   | En buen estado.  |
| Respirador 2 vías (GMB P100)   | En buen estado.  |
| Gorro de cuero tipo monja  | En buen estado.  |
| Arnés de seguridad para trabajo sobre 1,8 [mt]. Altura Acerado para soldador y ayudante                | En altura superior a los 4.9 [mt] se debe utilizar absorbedor de impacto.            |
| Arnés de Seguridad con 2 colas.  | En altura superior a los 4.9 [mt] se debe utilizar absorbedor de impacto.            |
| Canilleras, coderas  | En buen estado.  |

Finalmente, los equipos, herramientas y consumibles necesarios se detallan en la tabla 10.2:

Tabla 10.2: Equipos, herramientas y consumibles requeridos (FLS, 2023).

| Herramienta/máquina/<br>insumo              | Cantidad | Herramienta/máquina/<br>Insumo     | Cantidad |
|---|----------|------------------------------------|----------|
| Llave neumática 5980                        | 6        | Uñetas                             | 8        |
| Llave de torque revo 8000                   | 6        | Arnés de seguridad                 | 35       |
| Martillo neumático MX90                     | 6        | Colas tipo “Y”                     | 35       |
| Eslinga de cadenas 2<br>ramales por 10 [mm] | 4        | Arnés ignífugo                     | 6        |
| Puntas de martillo                          | 6        | Colas de acero                     | 12       |
| Dados cuadrantes de<br>1 ½” x 80 [mm]       | 6        | Martillo hidráulico<br>Thunderbolt | 2        |
| Botadores                                   | 6        | Compresor                          | 2        |
| Equipo de oxicorte                          | 4        | Grúa horquilla                     | 2        |
| Equipo de torch                             | 4        | Generadores                        | 2        |
| Macetas                                     | 6        | Máquina criogénica                 | 1        |
| Barillas de torch (cajas)                   | 10       | Hielo                              | -        |
| Carpas contención de bolas                  | 6        | Oxígenos                           | 5        |
| Espátulas                                   | -        | Rack de oxígenos                   | 4        |
| Mangueras neumáticas ¾”                     | 18       | Acetilenos                         | 5        |
| Máquina enlainadora                         | 1        |                                    |          |

# Capítulo 11

## Diseñar plan de mitigación basado en enfoques Lean en el modelo de gestión de activos y mantenimiento

En resumen, en consonancia con el modelo de gestión de activos y mantenimiento, se llevó a cabo una evaluación de la situación actual del mantenimiento en la planta concentradora de la empresa. Este análisis, que abarcó tanto el contexto global como el operativo, posibilitó la identificación y análisis de riesgos, con un enfoque específico en los equipos críticos del área de molienda y los puntos débiles del equipo de alto impacto seleccionado para el estudio. Además, se realizó una revisión del diseño del plan de mantenimiento, considerando los recursos necesarios.

En acuerdo con los antecedentes previos y el modelo de gestión de activos y mantenimiento, este capítulo se enfoca en las etapas 6 y 7 del modelo: "Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos" e "Ingeniería de mantenimiento". Estas etapas tienen como objetivo mejorar y perfeccionar el diseño de mantenimiento delineado en el capítulo anterior, mediante la aplicación de estrategias de mejora continua. Específicamente, MLP implementó la herramienta Lean de trabajo estandarizado con la finalidad de mitigar y reducir los riesgos previamente identificados, buscando alinearse con el propósito de la MLP de "ser la minera más segura y productiva del mundo". Detalles adicionales sobre la aplicación exitosa de esta metodología en el ámbito minero se encuentran explorados en el anexo C.

La finalidad principal de esta metodología es llevar a cabo un cambio de revestimientos que no solo sea más seguro y eficiente, sino que también garantice una calidad superior, una mayor confiabilidad y una mejora en la integridad operacional.

En última instancia, se realizará un análisis de los resultados, abordando aspectos como el tiempo de mantenimiento, la seguridad, los desperdicios identificados, la producción, los aspectos económicos y la eficiencia del equipo intervenido.

## 11.1 Identificación de las actividades de mantenimiento críticas que requieren estandarización

Para iniciar el plan de mitigación basado en enfoques lean, es esencial identificar la actividad que será objeto de estandarización, empleando el criterio de maximizar el valor aportado a la organización mediante este proceso de optimización. Este criterio implica identificar actividades que exhiban las siguientes características:

- Repetitivas
- Simples
- Realizadas en una única ubicación

## 11.2 Evaluación caso de negocio

Después de identificar la actividad que cumple con estas características en un proceso específico, se procede a realizar la valorización de la iniciativa. Este paso es crucial para cuantificar el impacto estimado. En caso de requerir inversión, este proceso permite conocer los habilitadores del proyecto y sus riesgos principales. Se lleva a cabo un estudio detallado que documenta la viabilidad económica de la iniciativa, al cual se refiere como el caso de negocio.

- **Habilitadores**
  - Transmisión de la información al equipo ejecutante.
  - Personal calificado para ejecución de trabajos.
- **Impacto estimado**
  - 83 [hr] planta.
  - 3.470,09 [ton Cu].
  - 21,1 [MUSD].
- **Inversión**
  - Realización taller y personas de apoyo: 62.637 [USD].
- **Principales riesgos**
  - Resistencia al cambio de las personas.

- Cambio de empresas que realizan la actividad.

- **Mitigadores de riesgo**

- Trabajo colaborativo entre E.E.C.C. y MLP centrado en las personas.
- Plan de gestión del cambio asociado a la nueva metodología.

El estudio económico proyectó un retorno durante los meses de julio, agosto y septiembre, alineado con la planificación del mantenimiento en la planta concentradora para el cambio de revestimientos de los molinos SAG. Este proceso se realizará de la siguiente manera: en julio se abordará el molino SAG 02, seguido por el molino SAG 01 en agosto y, finalmente, el molino SAG 03 en septiembre.:

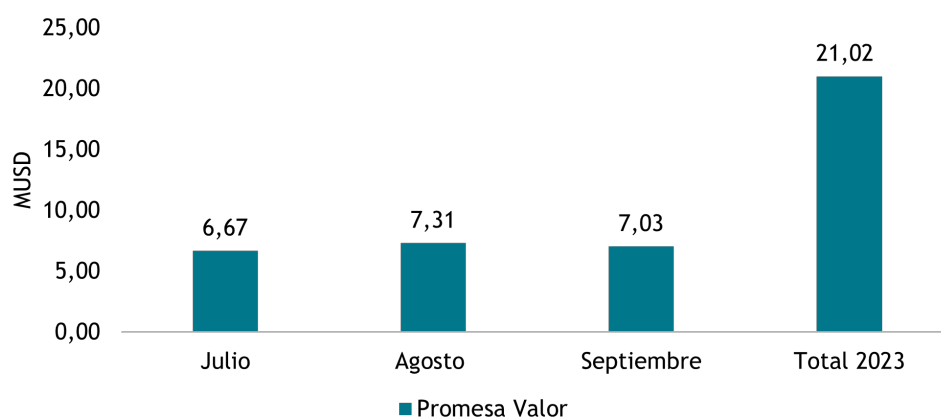


Figura 11.1: Caso de negocio trabajo estandarizado en cambio de revestimiento SAG (Pelambres, 2023).

Para respaldar la presentación de este caso de negocio, se incluyó un plan de implementación que abarca las actividades principales. Estas actividades se detallarán más adelante para ofrecer una visión del proceso de implementación.

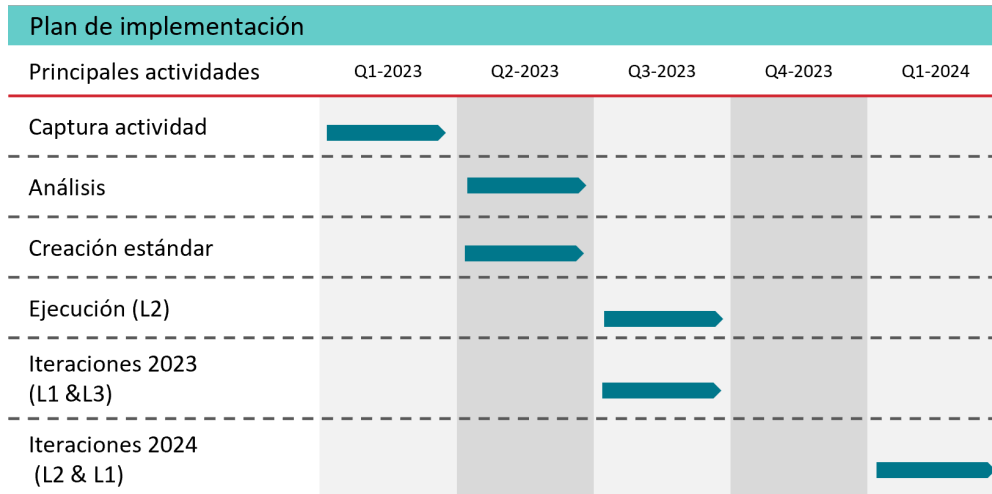


Figura 11.2: Plan de implementación de trabajo estandarizado (Pelambres, 2023).

### 11.3 Implementación de trabajo estandarizado

Una vez identificadas las actividades de mantenimiento que son críticas para el proceso, se implementa la herramienta de trabajo estandarizado de 5 pasos a pedido de la empresa mandante la cual se detalla a continuación:

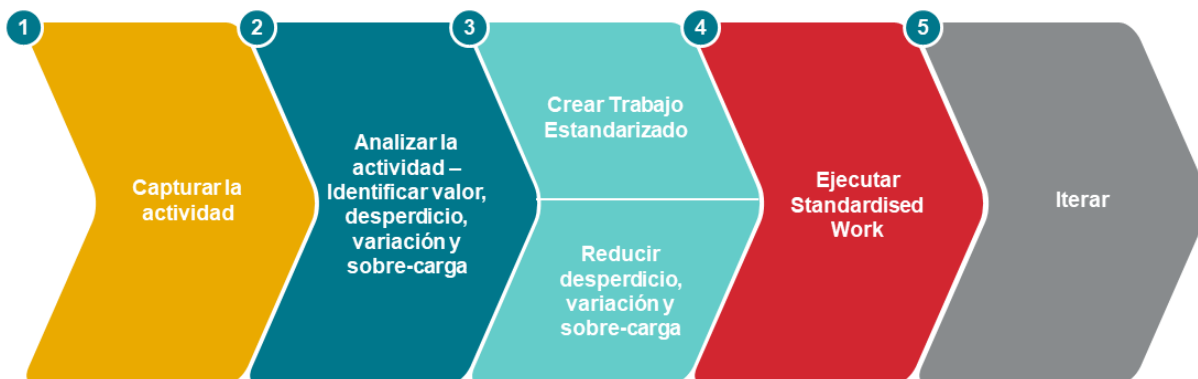


Figura 11.3: Pasos para implementación de trabajo estandarizado (Pelambres, 2023).

#### 11.3.1 Paso 1: Capturar de la actividad

En la primera etapa, los equipos trabajan en conjunto en el terreno durante la ejecución de la actividad con el fin de observar y comprender cómo se lleva a cabo la tarea, así como para identificar posibles frustraciones.

Se debe recopilar toda la información necesaria para optimizar una actividad centrada en la persona, identificando: roles, riesgos de seguridad, piezas, herramientas, actividades de calidad y

habilidades.

Durante la semana del 13 al 20 de marzo del año 2023 se realizó la captura de la actividad en el PM02 de la línea 3, correspondiente cambio de revestimiento del molino SAG 03. El tiempo programado para esta actividad, según carta Gantt, fue de 75 [hr]. Como se mencionó en capítulos anteriores, los objetivos de esta etapa corresponden a:

- Recopilar y obtener información de primera línea con los trabajadores para su posterior análisis y observación de frustraciones
- Grabar la actividad para visualizar movimientos del personal y secuencias, obteniendo así un mapeo del lugar en mantenimiento.



Figura 11.4: Equipo de filmación en captura de actividad.

### **11.3.2 Paso 2: Analizar la actividad- Identificar valor, desperdicio, variación y sobrecarga**

En la segunda etapa, es esencial identificar oportunidades que contribuyan a hacer la actividad más segura, eficiente y mejor en general. Este proceso implica desglosar la información recopilada, secuenciar y optimizar la actividad. Las mejoras se seleccionan y priorizan en función de su valor y facilidad de implementación, con las mejoras de rápido impacto implementándose de inmediato. Para abordar problemas más complejos, se requiere la participación activa del equipo en sesiones específicas de resolución de problemas.

Tras obtener la información después del mantenimiento, se lleva a cabo un taller de análisis en colaboración con el equipo ejecutivo que participó en la actividad. Este taller, realizado del 10 al 11 de abril, tiene como objetivo identificar oportunidades en las áreas de las 4M (método, movimiento, máquina, materiales) y HSEC con el fin de implementar mejoras significativas. En este punto, el personal debe armar una línea cronológica en una pizarra, detallando:

- Principales roles participantes
- Descripción de la actividad (método)
- Puntos claves (método)
- Movimientos
- Equipos y herramientas utilizadas (maquinaria)
- Controles/límites y parámetros aceptables
- Riesgos
- Controles
- E.P.P. claves
- Oportunidades de mejoras

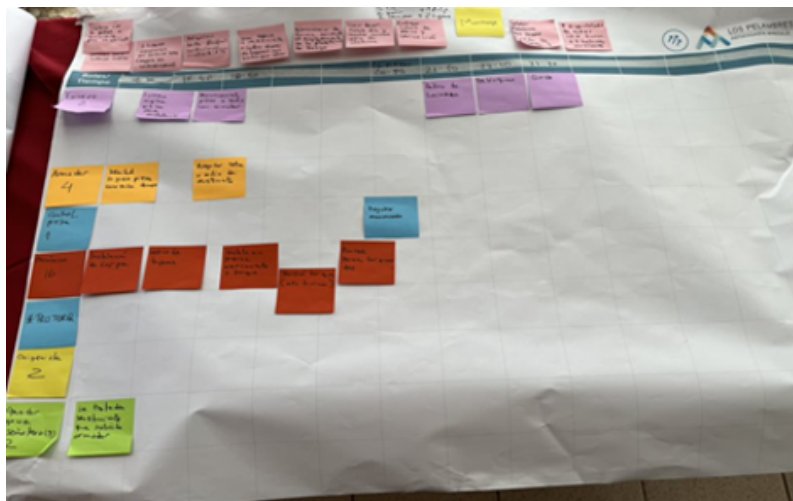


Figura 11.5: Rotafolio de taller de análisis (Pelambres, 2023).

Todos los puntos anteriores fueron ubicados a través de post it de distintos colores, con tal de diferenciar los distintos puntos mencionados anteriormente (ver figura 11.5). Posterior al taller de análisis, la información fue recopilada y ordenada para la siguiente etapa del trabajo estandarizado.

## Resultados y levantamientos de captura de la actividad y taller de análisis

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la información recopilada de la captura y el análisis de las actividades realizadas (paso 1 y 2).

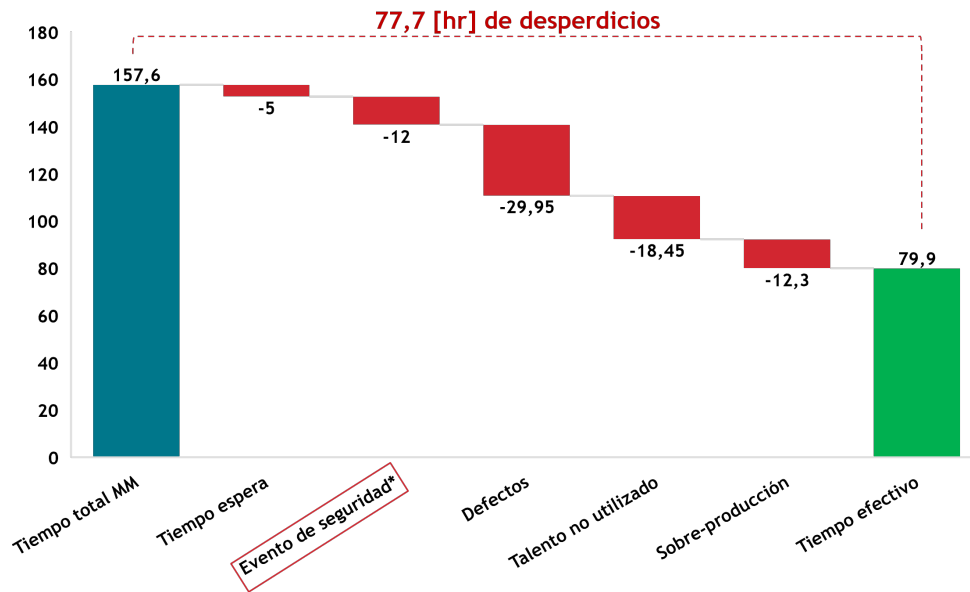


Figura 11.6: Análisis de distribución de desperdicios (Captura de la actividad).

Las actividades que no agregan valor al proceso de ejecución se dividen de la siguiente manera:

- Tiempo de espera: 3%
- Defectos: 19%
- Talento no utilizado: 12%
- Sobre-producción: 8%
- **Evento de seguridad\***: 8%

Del tiempo total del PM02, el 41% corresponden a desperdicios, sumado el evento de seguridad, el cual corresponde a un 8%.

Dentro del taller de análisis, se tomaron las oportunidades de mejora visualizadas en la mantención pasada, con tal de generar planes de acción, clasificar el impacto de este plan de acción de acuerdo a los pilares del trabajo estandarizado (si la actividad de cambio de revestimiento se volverá más segura, mejor o más fácil de realizar) y los responsables de llevar a cabo este plan. Se presentan a continuación las oportunidades de mejora en las figuras

| Oportunidad de mejora  | Plan de acción   | Clasificación | Responsable (s)   |
|--|--|---------------|---|
| Uso de traje antiesquirla  | Contar con traje antiesquirla para armador y supervisor (3)  | Seguro        | Senior ejecución mantenimiento/Programador molienda y pebbles   |
| Caretas de soldador para torchado (no de cintillo)                                 | Considerar caretas de soldador normal que se utiliza en torchado   | Seguro        | E.E.C.C.  |
| Incluir lona en todo el proceso de cambio de revestimiento (todos los giros)       | Revisar stock en bodega y mantener en cada mantención (agregar OT)   | Seguro        | E.E.C.C.  |
| Llave neumática en cada punto de trabajo (dado y mangueras)                        | Consolidar listado de herramientas para la mantención, tener stock de herramientas según listado   | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento/Programador molienda y pebbles   |
| Falta de extractores azules para torchado  | Solicitar a MLP disponibilidad de extractor exclusivo para cambio de revestimiento (3 unidades)  | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento/Programador molienda y pebbles   |
| Tener stock de mangueras (niples) para lainera                                     | Mantener stock de repuestos para máquina lainera en planta/confirmar el stock  | Seguro        | Senior ejecución mantenimiento/E.E.C.C.   |
| Instalar plataforma de bloqueo (caída de llaves)                                   | Implementar bandeja para impedir caída de llaves   | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento  |
| Mantener toma de aguas operativas para la mantención (red húmeda)                  | Generar aviso cuando no estén operativas e identificar redes húmedas que utilizarán por molino   | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento  |
| Considerar turno día y noche camiones de retiro de chatarra                        | Mantener 3 camiones por turno para retiro de chatarra  | Mejor         | Programador molienda y pebbles  |
| Inspección de herramientas y equipos (mangueras de torchado 20 [m])                | Realizar compra con mangueras para equipo de torhc de 20 [m]   | Mejor         | E.E.C.C.  |
| Usar filtros acordes al torchado   | Considerar filtros de acorde al cargo de torchador   | Mejor         | E.E.C.C.  |
| Vidrio torchado n° 10  | Comprar vidrios oscuros n° 10  | Seguro        | E.E.C.C.  |
| Considerar tiempo de torchado (fuera hacia dentro) posicionamiento                 | Revisar con planificación y confiabilidad (considerado dentro de los imprevistos) 6,2 mov/hora   | Fácil         | Ingeniero confiabilidad/programador molienda y pebbles/E.E.C.C.   |
| Retiro de líneas hidráulicas tapa descarga molinos SAG (mover)                     | Retirar líneas de aire y aceite que no estén operativas (generar aviso solo para SAG03)/identificar líneas de aire y aceite                          | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento/E.E.C.C.   |
| Cambiar uso de pallet por durmientes para revestimiento                            | Gestionar con el proveedor entrega revestimiento sin pallet (enviar detalle por mail para SAG03)   | Fácil         | Ingeniero confiabilidad   |
| Personal que trabaja en cilindro termina antes y se mueve a tapa de alimentación   | Generar e implementar estrategia de movimientos en el molino SAG   | Mejor         | E.E.C.C.  |
| Considerar macetas de bronce por proyección de esquirlas                           | Considerar stock de macetas  | Seguro        | E.E.C.C.  |
| Stock de guías magnéticas puntas martillo Thunderbolt                              | Mantener stock de guías magnéticas/revisar stock puntas de martillo  | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento/E.E.C.C.   |
| Considerar vallas papales para segregación   | Compra de vallas papales molienda  | Seguro        | Senior ejecución mantenimiento  |
| Stock insuficiente de agua para mantenedores                                       | Considerar stock de agua suficiente para la mantención   | Mejor         | E.E.C.C.  |
| Falta escobilla de acero, chascón limpio para perforaciones                        | Comprar y mantener stock de insumos  | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento/E.E.C.C.   |
| Máquina criogénica operativa   | Coordinación de supervisor con equipo de trabajo   | Mejor         | E.E.C.C.  |
| Entregar colores de pernos y ubicación en el molino SAG                            | Enviar planilla actualizada con colores de los pernos y medidas  | Fácil         | Ingeniero confiabilidad/E.E.C.C.  |
| Tener operativo el giro lento del molino   | Revisar tacómetro SAG02  | Mejor         | Senior mantenimiento-eléctrico  |
| Mantener los mismos operadores lainera   | Tratar de mantener los mismos laineros MM  | Mejor         | E.E.C.C.  |
| Mayor disponibilidad de radios (10 por turno+3 baterías auxiliares)                | Considerar stock de radios suficiente para la mantención   | Fácil         | E.E.C.C.  |
| Evento de seguridad por trabajo en altura al interior del molino SAG               | Cambio de estrategia a cambio de revestimiento a nivel de piso   | Seguro        | Ingeniero confiabilidad   |
| Realizar cambio de revestimientos molino SAG a nivel de piso (interior y exterior) | Prueba de nivel de llenado JC= 22%, giro molino e interacción con lainera  | Mejor/seguro  | Superintendente ejecución mantenimiento/Senior ejecución mantenimiento/Ingeniero confiabilidad/Jefe de turno molienda |
| Supervisor de andamios presente en preparativos                                    | Solicitar a administrador  | N/A           | E.E.C.C.  |
| Tiempo consumido por retiro e ingreso de lainera entre giro molino                 | Fabricación de protecciones lainera para giro molino con lainera interior molino   | Mejor/fácil   | Superintendente ejecución mantenimiento/Senior ejecución mantenimiento  |
| Habilitación de giro lento   | Solicitar 24 horas para ingresar a motor SAG02 para revisión de peineta, revisar alternativas para ejecutar durante restricción hídrica              | Mejor         | Senior mantenimiento-eléctrico/Planificador MM  |
| Habilitación de giro lento   | Tomar medidas de peineta SAG01 durante la detención de 24 horas para envío de fabricación de peineta/Fabricación de peineta replica SAG01 para SAG02 | Mejor         | Senior mantenimiento-eléctrico  |
| Habilitación de giro lento   | Ingreso para revisión de motor SAG02, luego de enfriamiento motor durante las horas asignadas para cambio de corazas                                 | N/A           | Senior mantenimiento-eléctrico/Planificador MM  |
| Habilitación de giro lento   | SAG01se requiere molino detenido 24 horas para instalación de tacómetro  | N/A           | Senior mantenimiento-eléctrico/Planificador MM/Planificador Senior Molienda   |

Figura 11.7: Acciones relativas a las oportunidades de mejora (paso 1 y 2).

- **Evento de seguridad y eliminación de trabajo en altura al interior del molino SAG:** Durante los trabajos de cambio de revestimiento en la tapa de alimentación del molino SAG, un trabajador de la E.E.C.C. que se encontraba a 2,9 [m] de altura sobre una escalera perdió el equilibrio al intentar bajar después de entregar una herramienta a su compañero. Como resultado, resbaló desde el peldaño inferior, cayendo desde una altura de 2,3 [m]. A pesar de la caída, el trabajador se reincorporó por sí mismo, salió del molino y fue trasladado

inmediatamente al policlínico. Es de acuerdo al evento de seguridad anterior y al propósito de la empresa que se realiza un cambio de estrategia, para el cual se realizarán todas las actividades involucradas a nivel de piso, con tal de eliminar el riesgo de trabajo en altura (sobre 1,8 [m]) y crear un entorno más seguro en esta actividad.

### 11.3.3 Paso 3: Crear estándar

En esta fase, en colaboración con el personal técnico especializado en la tarea, se establece el estándar de trabajo considerando las 4M (método, movimiento, máquina, material). La participación activa del personal técnico es crucial, ya que se busca reducir la resistencia al cambio. La creación de un trabajo estandarizado está diseñada para asegurar que la información crítica de seguridad y calidad quede registrada de manera precisa en relación con la actividad.

En el proceso de desarrollar estos estándares, se buscó la colaboración del personal técnico, quienes dedicaron dos meses (mayo y junio) para crear dos tipos de estándares de trabajo estandarizado: uno de carácter general y otro específico para cada rol.

- **Estándar general:** Este documento describe de forma general las actividades que implican un cambio de revestimiento en un molino SAG, explicitando riesgos asociados, E.P.P's necesarios, duración de cada actividad, roles claves, método o mejores prácticas, herramientas y materiales necesarios (ver anexo I).
- **Estándares por rol:** A diferencia del estándar general, este documento describe de forma específica las actividades que deben realizar los principales roles participantes en el cambio de revestimiento en un molino SAG donde quedan explicitados los riesgos asociados a la actividad, E.P.P's claves, duración de cada actividad, método o mejores prácticas, herramientas y materiales necesarios (ver anexo J). En esta etapa, se identificaron ocho roles principales:
  1. Supervisor
  2. Líder mecánico
  3. Operador lainera
  4. Torchador
  5. Mecánico
  6. Armador
  7. Operador grúa horquilla
  8. Señalero

Una vez terminados y completados los estándares, durante el mes de junio se realizó la primera bajada y difusión oficial de estos documentos, con el objetivo de revisar y confirmar que estos se adecuan a la actividad de cambio de revestimiento de un molino SAG.

### 11.3.4 Paso 4: Ejecutar trabajo estandarizado

Consiste en la difusión y aplicación del estándar de trabajo estandarizado en terreno. Esto permite plantear, trackear problemas y mejoras. Todos los que siguen el trabajo estandarizado permiten verificar las mejoras y establecer una nueva línea base.

Esta etapa se desarrolló desde el martes 25 de julio hasta el domingo 30 de julio, de acuerdo al PM02 de la línea 2 (SAG 02). El tiempo programado para esta actividad, según carta Gantt, fue de 78.5 [hr]. En este punto, se aplica la nueva secuencia obtenida de acuerdo al estándar general y por roles, con tal de dar seguimiento en terreno. Nuevamente se busca identificar desperdicios y visualizar oportunidades de mejora.

#### Resultados de ejecución

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la información recopilada en la etapa de ejecución (paso 4):

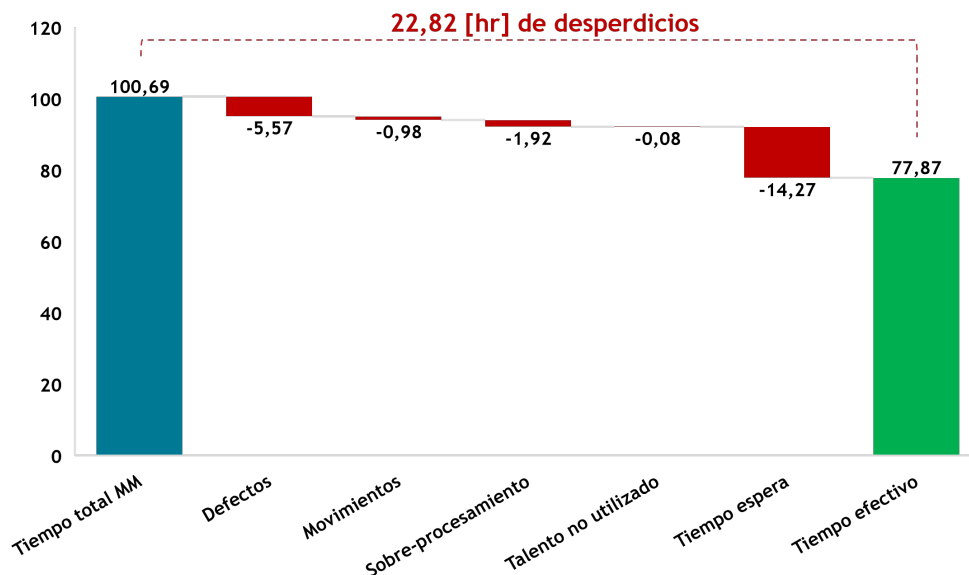


Figura 11.8: Análisis de distribución de desperdicios (Ejecución).

Las actividades que no agregan valor al proceso de ejecución se dividen de la siguiente manera:

- Tiempo de espera: 3%
- Defectos: 19%
- Talento no utilizado: 12%
- Sobre-procesamiento: 8%
- Movimientos: 8%

Del tiempo total del PM02, el 23% corresponden a desperdicios y un 8% a tiempos que habilitan valor. Mayor detalle de los desperdicios hallados dirigirse a anexo E. Por otro lado, Las principales mejoras realizadas en esta mantención corresponden a:

- **Cambio de estrategia de giros molino SAG:** Históricamente, MLP realizaba el cambio de revestimiento de los molinos SAG a través de 5 giros, donde se torchaban, botaban, limpiaban y montaban la mayor cantidad de revestimientos al interior del molino, implicando de esta manera trabajar en altura con el uso de escaleras. Debido al evento de seguridad es que se optó por un cambio de estrategia donde las actividades involucradas se realizarán a nivel de piso, sin trabajo en altura, botando una menor cantidad de piezas, pasando de 5 a 10 giros en total, pero mitigando y eliminando el riesgo de trabajo en altura.
- **Participación en día cero con líderes de cuadrilla:** Esta actividad consiste en que un día antes del comienzo de la actividad de mantenimiento, el personal de MLP y la empresa E.E.C.C. participan en conjunto para definir los principales puntos y objetivos de la actividad de cambio de revestimiento respecto a la seguridad, el layout dispuesto en la planta, los roles participantes en la actividad, sus funciones y secuencias a seguir, etc.
- **Definición por rol de forma detallada:** A través del uso de un modelo a escala del molino SAG se realizó una simulación de las secuencias de movimientos de los roles participantes que compone la actividad de cambio de revestimiento a los trabajadores ejecutantes de la E.E.C.C.



(a) Modelo a escala molino SAG (b) Definición de roles participantes.

Figura 11.9: Participación día cero MLP y E.E.C.C.

De acuerdo a un análisis post mortem del mantenimiento, se presentan a continuación las oportunidades de mejora en conjunto a su plan de acción y responsable(s) en la figura 11.10:

| Oportunidad de mejora  | Plan de acción   | Clasificación | Responsable (s)  |
|--|--|---------------|--|
| Identificación de equipos lado molino                          | Implementar gestión visual a través de cascos/geólogos verde y naranja (un color por cada lado del molino)                     | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Quiebre de brazos de reacción máquina de torque                | Reponer barzos de reacción de la máquina de torque y generar stock de reserva  | Mejor         | Ingeniero confiabilidad                                  |
| Rotura de flexibles lainera                                    | Reunión de revisión fallas lainera   | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Retraso por armado de andamios                                 | Generar y estandarizar una secuencia de armado de andamios/buscar horas de retraso por tiempo de espera por armado de andamios | Mejor/Fácil   | Senior ejecución mantenimiento/Ingeniero mejora continua |
| Retraso por botado Tapa Descarga                               | Generar uso de martillo hidráulico Thunderbolt   | Mejor/Fácil   | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Falta de repuestos para martillo neumático                     | Confirmar llegada de repuestos   | Fácil         | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Falta de máquinas criogénicas                                  | Habilitar y confirmar cantidad de máquinas criogénicas   | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Tránsito personal ejecutante en movimiento de grúa horquilla   | Segregación con barrera dura (new jersey) para movimientos grúa horquilla  | Seguro/Mejor  | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Tiempos de espera en cambios de turno                          | Implementar cambio de turno manilla a manilla  | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Respetar cuadrillas de trabajo (4 por postura)                 | Respetar cuadrillas de trabajo (4 por postura)   | Mejor/Fácil   | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Adherencia a carta Gantt                                       | Refuerzo a líderes de cuadrilla para cumplimiento de carta Gantt (no avanzar más piezas que las definidas)                     | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Generar un Time On Tools en terreno                            | Agregar tabla con datos tiempo por giro a pizarra (on time)  | Fácil         | Ingeniero mejora continua                                |
| Desorden de llaves en cajas de desbloqueo                      | Crear gestión visual en llaves bloqueo a través de bolsas de colores   | Fácil         | Ingeniero mejora continua                                |
| Asegurar bloqueo en desconector entre giro 2 y giro 8          | Crear y estandarizar un documento para bloqueo   | Seguro/Mejor  | Senior ejecución mantenimiento                           |
| Generar gestión del cambio y avances del trabajo estandarizado | Hacer lámina tiempos de giro año 2022 versus actualidad (realizar difusión y bajada a equipo MLP y E.E.C.C.)                   | Mejor         | Ingeniero mejora continua                                |
| Retraso acreditación de personal E.E.C.C.                      | Confirmar listado de personal una semana antes de MM para evitar problemas en acreditación                                     | Mejor         | Senior ejecución mantenimiento                           |

Figura 11.10: Acciones relativas a las oportunidades de mejora (ejecución).

### 11.3.5 Paso 5: Iterar

En este punto, la estandarización del trabajo no va a ser perfecta, pues sigue existiendo la mejora continua. A medida que el trabajo estandarizado vaya madurando, se deben involucrar todas las personas pertinentes para garantizar que se siga y cumpla con los requisitos especificados. Parte de la filosofía que está detrás del trabajo estandarizado es que un estándar es mejorable continuamente. De acuerdo al ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), es que se realizan iteraciones las veces que sean necesarias, con tal de generar adherencia al cambio. Para el año 2023, se realizaron dos iteraciones de acuerdo al PM02 del cambio de revestimiento del molino SAG:

#### Resultados iteración 1

La primera iteración se realizó desde el lunes 14 de agosto hasta el jueves 17 de agosto en la línea 1 (SAG 01). El tiempo programado para esta actividad, según carta Gantt, fue de 71 [hr].

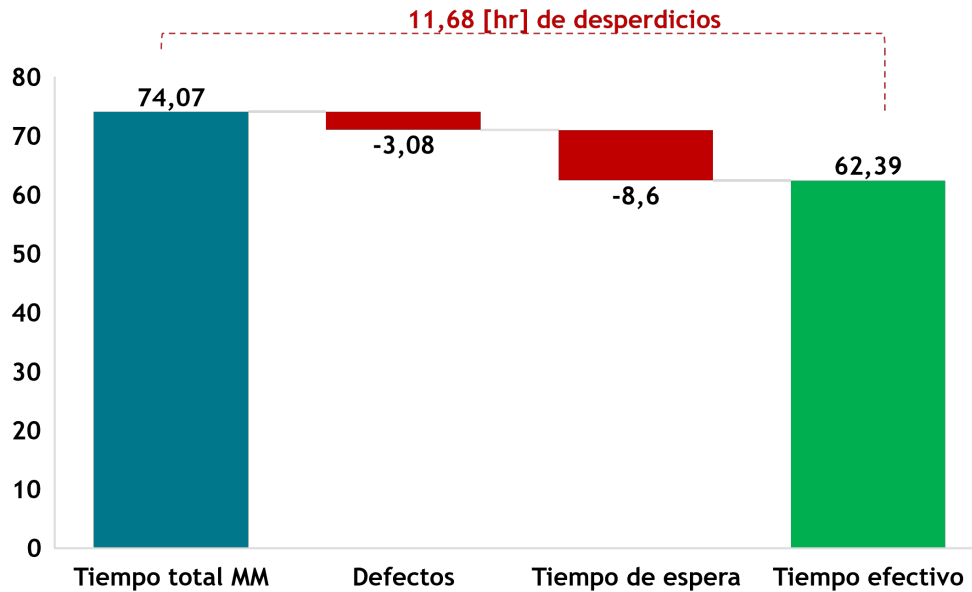


Figura 11.11: Análisis de distribución de desperdicios (Iteración 1).

Las actividades que no agregan valor al proceso de ejecución se dividen de la siguiente manera:

- Tiempo de espera: 12%
- Defectos: 4%

Del tiempo total del PM02, el 16% corresponden a desperdicios y el 13% a tiempos que habilitan valor. Mayor detalle de los desperdicios hallados dirigirse a anexo F. Por otro lado, las principales mejoras visualizadas en la mantención corresponden a:

- **Mejoras en layout:** En cada actividad de Mantenimiento Mayor (MM), es crucial tener un conocimiento preciso del diseño de la planta, incluyendo la ubicación específica de cada equipo, las zonas de seguridad para eventos sísmicos, la caja departamental de bloqueo, las segregaciones de seguridad, entre otros aspectos. Por esta razón, el diseño del espacio incluyó mejoras significativas, abordando cuestiones como el tránsito de la grúa horquilla, accesos habilitados, segregaciones y redes húmedas.

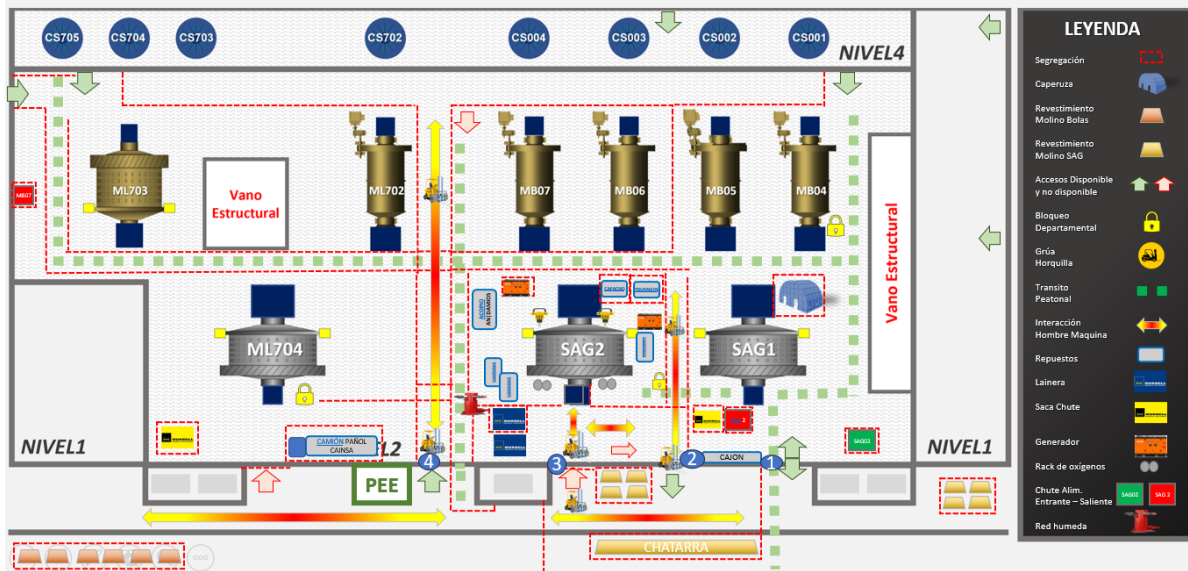


Figura 11.12: Layout Planta MM julio L2.

- **Segregación con barrera dura:** Durante las etapas de limpieza y montaje, la grúa horquilla desempeña un papel esencial al transportar revestimientos usados hacia un patio de acopio y traer nuevos revestimientos desde el mismo lugar, utilizando los rieles de la lainera. Dado que la grúa horquilla está en constante movimiento y debe operar a máxima velocidad, su eficiencia es crucial. La elevada presencia de personal durante esta actividad genera un constante tránsito peatonal, lo que puede obstaculizar y interrumpir el movimiento fluido de la grúa horquilla. Para prevenir estas interferencias, se implementaron barreras duras o new jerseys, asegurando así un camino exclusivo para la grúa horquilla y permitiéndole realizar sus tareas de manera segura y sin contratiempos.
- **Seguimiento de carta Gantt:** En la carta Gantt se especifica qué revestimiento se interviendrá y en qué cantidad. Por esta razón, se implementó un refuerzo en el día cero del mantenimiento a los líderes de estandarización (2), cuyo objetivo es garantizar el cumplimiento de este documento y evitar intervenciones innecesarias o insuficientes en los revestimientos.



(a) Segregación con barreras duras. (b) Geólogo líder de estandarización.

Figura 11.13: Mejoras realizadas en la etapa de ejecución.

- **Gestión visual en terreno:** Con el propósito de optimizar el "Time On Tools" en el terreno, se ha introducido una pizarra de trabajo estandarizada. Su función principal es permitir la visualización de la carta Gantt directamente en el lugar de trabajo, facilitando la comparación entre el plan teórico y la situación real. De esta manera, se posibilita una verificación constante del estado del mantenimiento, determinando si está progresando según lo programado, adelantado o retrasado.

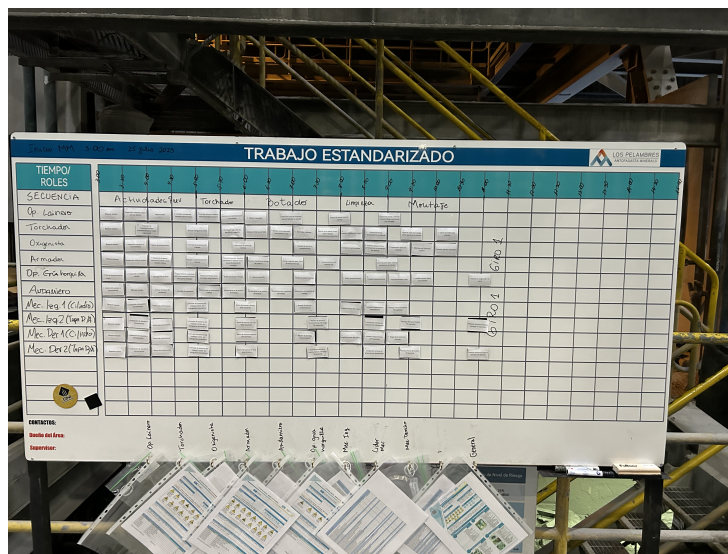


Figura 11.14: Pizarra de Trabajo Estandarizado.

- **Estándar color de llaves:** En la caja de bloqueo departamental destinada a la actividad de cambio de revestimientos del molino SAG, se han incorporado llaves diferidas específicas para diversos bloqueos, dependiendo de la posición en que se encuentre el equipo. Con el objetivo de organizar las llaves de manera sistemática y agilizar el proceso de desbloqueo en futuros giros, se implementaron bolsas de diferentes colores. Cada bolsa alberga las llaves correspondientes, proporcionando una identificación visual rápida y eficiente.

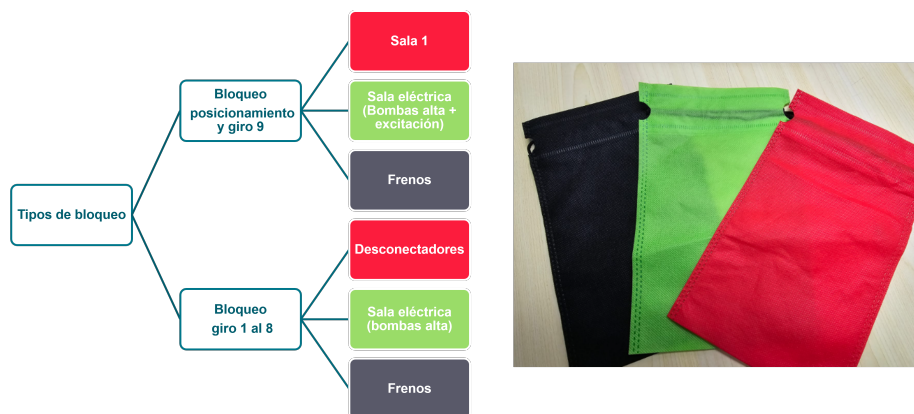


Figura 11.15: Estándar de colores para giros.

De acuerdo a un análisis post mortem del mantenimiento, se presentan a continuación las oportunidades de mejora en conjunto a su plan de acción y responsable(s) en la figura 11.16:

| Oportunidad de mejora  | Plan de acción  | Clasificación | Responsable (s)                         |
|--|---|---------------|---|
| Retraso cambio de turno  | Generar plan de manilla a manilla para los cambios de turno   | Mejor         | E.E.C.C.                                |
| Torque máquina lado izquierdo arroja falla por temperatura y retrasa torque por enfriamiento | Revisar generadores con enchufes para conectar llaves de torque   | Mejor/Fácil   | Programador Molienda y Pebbles          |
| Falla de compresores de aire por el lado izquierdo y derecho                                 | Solicitar y revisar informe de matención de equipos compresores y generadores previo a MM   | Mejor/Fácil   | Programador Molienda y Pebbles/E.E.C.C. |
| Gestión visual de la disposición del MM previo al ingreso del área de molienda               | Mejorar layout considerando publicación y difusión en la entrada a la planta a 1 semana antes de MM                               | Mejor/Fácil   | Programador Molienda y Pebbles/E.E.C.C. |
| Generar y visualizar cuadrillas de trabajo de acuerdo al lado del molino SAG                 | Desglosar en la planilla de gestión temprana el detalle de colores de casco y/o geólogo según cada lado de trabajo                | Fácil         | E.E.C.C.                                |
| Disposición de andamios no permite usar martillo Thunderbolt                                 | Modificar disposición de andamios para generar el uso del martillo hidráulico Thunderbolt   | Fácil         | E.E.C.C.                                |
| Generar trabajo paralelo en 3 puntos (descarga, alimentación, cilindro)                      | Desglosar en la planilla de gestión temprana y agregar en estándar general trabajos en paralelo para difusión de la actualización | Mejor         | E.E.C.C.                                |

Figura 11.16: Acciones relativas a las oportunidades de mejora (iteración 1).

## Resultados iteración 2

La segunda iteración se realizó desde el domingo 10 de septiembre hasta miércoles 13 de septiembre en la línea 3 (SAG 03). El tiempo programado para esta actividad, según carta Gantt, fue de 74.3 [hr].

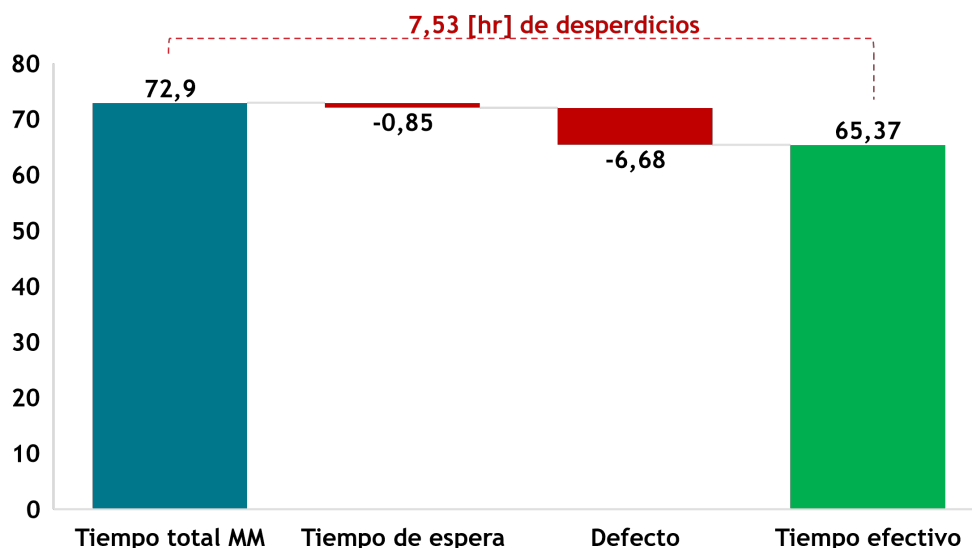


Figura 11.17: Análisis de distribución de desperdicios (Iteración 2).

Las actividades que no agregan valor al proceso de ejecución se dividen de la siguiente manera:

- Tiempo de espera: 1%
- Defectos: 9%

Del tiempo total del PM02, el 10% corresponden a desperdicios y el 14% a tiempos que habilitan valor. Mayor detalle de los desperdicios hallados dirigirse a anexo G. Por otro lado, dentro de los puntos de mejora que se visualizaron en esta mantención se destacan:

- **Mejoras layout y difusión temprana:** Se han implementado nuevas mejoras en el diseño del layout con el objetivo de lograr una mayor claridad en la disposición de la planta concentradora durante el Mantenimiento Mayor (MM). Entre los ajustes realizados, se destacan la optimización del tránsito peatonal, la creación de áreas exclusivas para el tránsito y segregación de la grúa horquilla, la demarcación de zonas de seguridad, la ubicación precisa del chute de alimentación, la identificación de la caja departamental de bloqueo, la planificación de las desmovilizaciones, entre otros detalles significativos. Además, se llevó a cabo la difusión del layout con una antelación de 1 semana antes del inicio del MM, permitiendo un estudio más detallado de la planta concentradora y una planificación mejorada del mantenimiento.

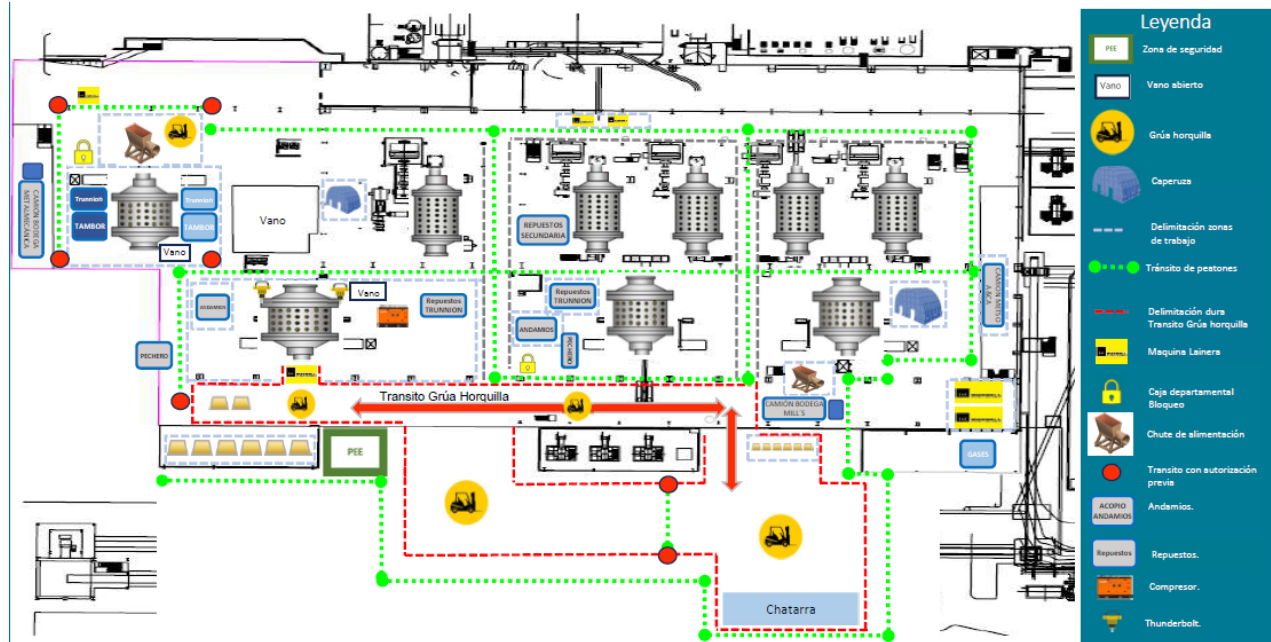


Figura 11.18: Layout Planta MM septiembre L3 (Pelambres, 2023).

- **Gestión visual de cuadrillas:** Para facilitar la identificación de las cuadrillas que operan en cada lado del molino SAG, se introdujeron chalecos geólogos de color verde y naranja, asignando un color específico a cada lado. De este modo, cada trabajador puede reconocer fácilmente su cuadrilla y mantener una clara distinción entre los equipos de trabajo.
- **Cambio disposición de andamios:** En la fase de botado en la tapa de descarga, se cuenta con una herramienta llamada martillo hidráulico Thunderbolt, la cual requiere la colaboración de 4 trabajadores para llevar a cabo la tarea de manera eficiente. Debido a su robustez, la disposición actual de los andamios impide el uso óptimo de esta herramienta. Por esta razón, se ha solicitado modificar la configuración de armado de los andamios para permitir el uso efectivo de esta herramienta, mejorando así el proceso de botado durante el cambio de revestimiento sin comprometer la seguridad de los trabajadores.



(a) Antes

(b) Después

Figura 11.19: Modificación de andamios.

- **Trabajo paralelo en 3 puntos del molino SAG:** Con el objetivo de mejorar la calidad del trabajo, se persigue la ejecución simultánea de las acciones de botado y montaje en ambos lados del molino SAG, abarcando los 3 puntos clave (descarga, cilindro y alimentación). Esta metodología de realizar las actividades ha sido oficializada en el estándar general de trabajo estandarizado, con el fin de su amplia difusión y publicación.

Pasadas 2 semanas de la actividad de cambio de revestimiento de los molinos SAG, se realizó un taller de análisis post mortem entre el personal de MLP (excelencia operacional, mantenimiento ejecución, programación mantenimiento, confiabilidad) y el personal de la empresa E.E.C.C. (gerente general y supervisores) con el objetivo de tomar oportunidades de mejora visualizadas en la mantención pasada, con tal de generar planes de acción, clasificar el impacto de este plan de acción de acuerdo a los pilares del trabajo estandarizado (si la actividad de cambio de revestimiento se volverá más segura, mejor o más fácil de realizar) y los responsables de llevar a cabo este plan. De manera adicional, se presentaron videos grabados durante la mantención en distintos puntos del molino SAG, con tal de visualizar los resultados finales y encontrar nuevas oportunidades de mejora. Las oportunidades de mejora que se obtuvieron del taller se presentan en la figura 11.20:

| Oportunidad de mejora                              | Plan de acción   | Clasificación      | Responsable(s)  |
|--|--|--------------------|---|
| Tiempos de espera por fallo de bombas de alta      | Confeccionar traba mecánica al sistema de freno de los molinos SAG para no bloquear las bombas de alta y evitar entrar a la sala de lubricación/Revisar matriz de bloqueos                                       | Mejor              | Senior ejecución mantenimiento  |
| Tiempo de espera por desbloqueo de otras empresas  | Después de montaje de parrillas, dar aviso de proyección de giro (cada 10 minutos dar estatus de la proyección/Implementación de gestión visual en la caja de bloqueo a través de un semáforo y medición de data | Mejor/Fácil        | Senior ejecución mantenimiento/Programador Molienda y Pebbles/E.E.C.C |
| Falla de lainera                                   | Uso de herramienta certificada inserta en lainera para evitar sacado forzado y pasar a llevar flexibles (realizar planos y posterior fabricación)  | Mejor/Fácil        | E.E.C.C.  |
| Corte recurrente de flexibles (niples)             | Crear inventario de repuestos críticos de lainera en la etapa de preparativos y disponer de un estanque con mangueras  | Mejor              | E.E.C.C.  |
| Corte de pernos por oxicorte                       | Buscar opciones para evitar el corte de pernos por oxicorte  | Mejor              | E.E.C.C.  |
| Potencial riesgo trabajo en altura interior molino | Modificar y estandarizar altura de escalera con tal de mitigar riesgo de trabajo en altura   | Seguro             | Senior ejecución mantenimiento  |
| Armado de andamios Tapa Descarga                   | Cambiar grating en Tapa Descarga de forma abatible para dejar armado de andamios   | Mejor/Fácil        | Senior ejecución mantenimiento/Programador Molienda y Pebbles         |
| Armado de andamios Tapa Descarga                   | Implementar punto de anclaje para eliminar uso de andamios   | Seguro/Mejor       | Senior ejecución mantenimiento/Programador Molienda y Pebbles         |
| Cargado de herramientas                            | Implementar monoriel portátil para sujeción de herramientas  | Mejor/Fácil/Seguro | E.E.C.C.  |
| Distribución de cuadrillas                         | Actualizar distribución de cuadrillas durante la etapa de montaje  | Mejor/Fácil        | E.E.C.C.  |
| Uso de martillo hidráulico                         | Implementación de guí imantada para martillo hidráulico  | Mejor/Fácil        | E.E.C.C.  |
| Fugas de aceite                                    | Revisión de fugas de aceite previo a mantenimiento   | Seguro             | Senior ejecución mantenimiento  |
| Horarios de almuerzo                               | Establecer un protocolo para los horarios de almuerzo  | Mejor              | E.E.C.C.  |

Figura 11.20: Acciones relativas a las oportunidades de mejora (iteración 2).

# Capítulo 12

## Evaluación económica de los resultados

Para poder realizar el correspondiente análisis de resultados, se considerará como LB (línea base) la captura del de cambio de revestimiento del molino SAG 03 del mes de marzo, con un tiempo total de mantenimiento de 157,6 [hr].

Dentro del caso de negocios se consideraron 3 cambios de revestimientos para 3 molinos distintos. Cada uno tiene una hora meta de acuerdo a la carta Gantt, donde se considera el tiempo desde el retiro del chute hasta su posterior posicionamiento.

Tabla 12.1: Metas cambio de revestimiento molinos SAG.

| Ítem            | Unidad | Valor |
|-----------------|--------|-------|
| Línea base      | horas  | 157,6 |
| Meta hora SAG02 | horas  | 78,5  |
| Meta hora SAG01 | horas  | 71    |
| Meta hora SAG03 | horas  | 74,3  |

Como meta, se propone una disminución del MTTR cambio de revestimiento del molino SAG, la cual se determinó de la siguiente manera:

$$Potencial\ MTTR = (LB - SAG01) + (LB - SAG02) + (LB - SAG03) \quad (12.1)$$

De la ecuación anterior obtenemos un potencial de disminución del MTTR de **249 [hr]**. Al ser 3 líneas de producción, para cada molino SAG se tiene un potencial de disminución de 83 [hr] planta. Si se considera que un año son 8760 [hr], el aporte potencial de disponibilidad anual 2023 se calcula:

$$Potencial\ dispo.\ anual = \frac{83}{8760} * 100 = 0,95\% \quad (12.2)$$

De esta manera, se obtiene un aporte potencial de disponibilidad anual de 0,95%, meta a buscar

en los 3 mantenimientos desarrollados en el año 2023.

El aumento potencial en la disponibilidad anual resulta en una potencial valorización monetaria, la cual trae beneficios económicos para la empresa. Para su valorización se utilizó una calculadora que se encuentra estandarizada a nivel del grupo minero, en donde se toma toda la data de procesamiento de la planta concentradora, teniendo como línea base el año 2022. Por temas de esta memoria, la calculadora considerará solamente el impacto de la disponibilidad, por lo que la utilización y el rendimiento permanecerán bajo la suposición de constantes.

## 12.1 Disminución del MTTR

De acuerdo a la línea base establecida, y con un 100% de cumplimiento en cada una de las 5 etapas de la herramienta de trabajo estandarizado, se obtuvieron los siguientes resultados:

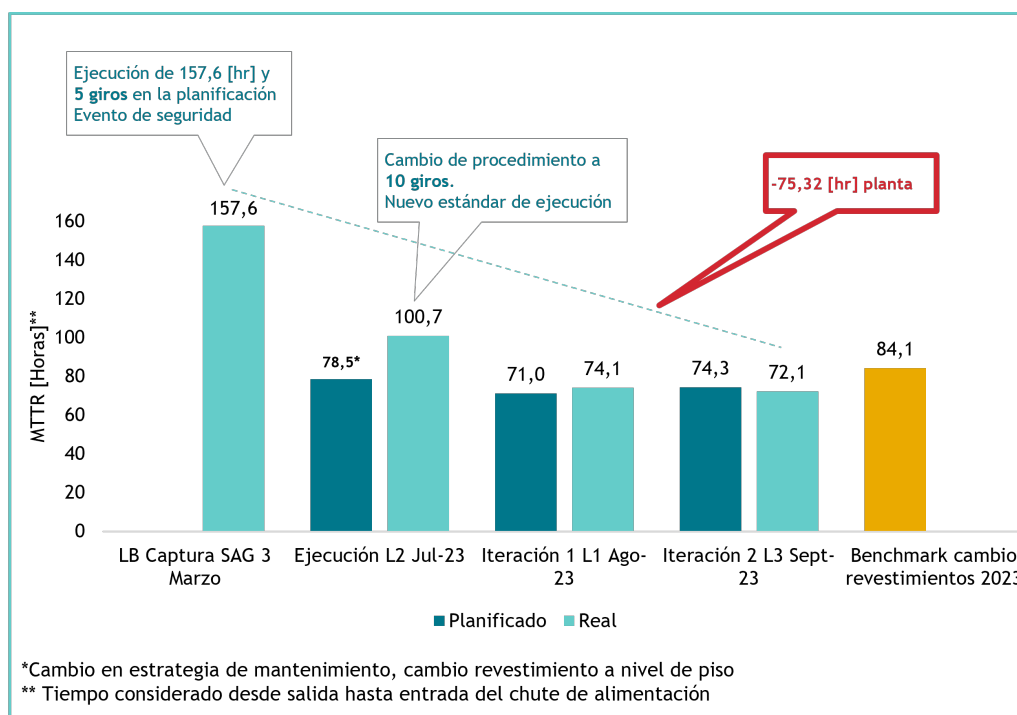


Figura 12.1: Análisis de tiempos cambio de revestimientos molinos SAG.

Como se puede observar en la figura 12.1, se disminuyó el MTTR a **225,95 [hr]**. Si se cuenta con 3 líneas de producción, el aporte anual en horas planta para cada molino corresponde a **75,32 [hr]**.

Por otra parte, al comparar los resultados con el benchmark, se observa una reducción en el tiempo necesario para el cambio de revestimiento, disminuyendo de un promedio de 84,1 [hr] a 72,1 [hr] en el último mantenimiento. Considerando que la cantidad de piezas cambiadas en los molinos

SAG de MLP es de 261, implica que se realizan tanto el retiro como la instalación de estas piezas, totalizando 522 movimientos. Este cambio se traduce en un aumento en la tasa de movimientos por hora, pasando de 6,22 [mov/hr] a 7,24 [mov/hr].

## 12.2 Análisis de desperdicios

Dentro del rol de la herramienta de trabajo estandarizado fue identificar desperdicios, defectos y problemas de seguridad, con tal de disminuir estos tiempos de desperdicios, disminuir los tiempos habilitadores de valor y generar mayor valor para el cliente. Con el 100% de los 5 pasos correspondientes a esta herramienta, en conjunto a la información procesada, se obtuvieron los siguientes resultados:

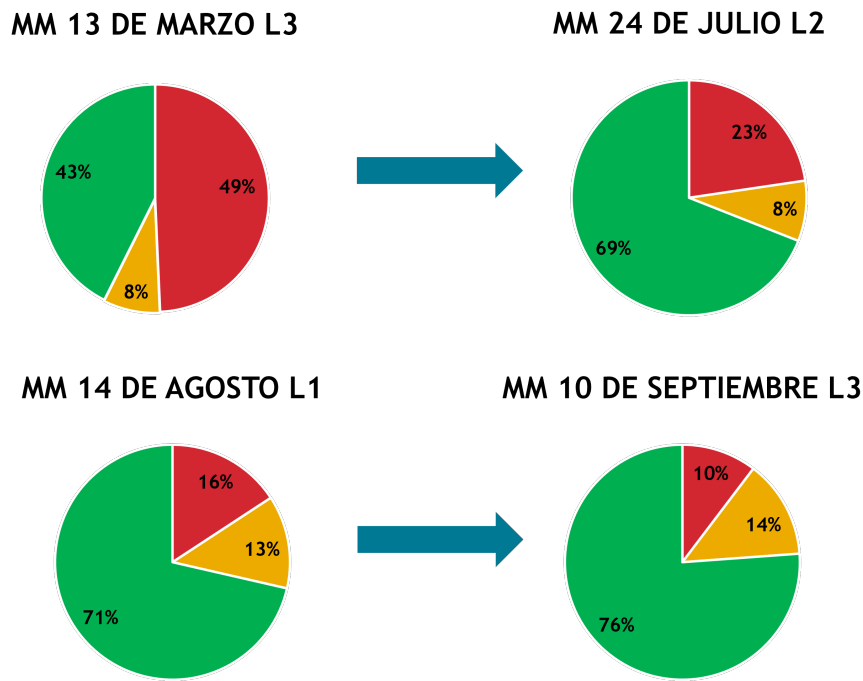


Figura 12.2: Análisis de desperdicios: Se clasifican en verde (aporte de valor), amarillo (tiempo habilitador de valor) y rojo (desperdicios).

De la figura 12.2, desde la mantención mayor de marzo hasta la última realizada en septiembre del 2023, los desperdicios se vieron reducidos de un 49% a un 10%, proporcionando un aumento de valor de un 43% a un 76%. Por otro lado, los tiempos incidentales se vieron aumentados de un 8% a un 14%.

Dentro de los hitos y mejoras importantes que se obtuvieron a través de reuniones post mortem a cada mantenimiento se destacan:

- Cambio de estrategia de mantenimiento de (5 giros a 10 giros).
- Eliminación de riesgo de trabajo en altura a través del cambio de revestimiento a nivel de piso.
- Participación en día cero con líderes de cuadrillas.
- Definición de roles participantes de forma detallada.
- Mejoras en layout de MM.
- Segregación con barrera dura.
- Refuerzo a líderes de cuadrilla para cumplimiento de carta Gantt.
- Gestión visual en terreno.
- Mejoras en bloqueo.
- Implementación de geólogos con colores diferidos.
- Uso de martillo hidráulico Thunderbolt.
- Trabajo en 3 puntos del molino de manera paralela (descarga, cilindro y alimentación).

### **12.3 Aumento de disponibilidad**

Debido a que se disminuyó el MTTR en el cambio de revestimientos del molino SAG en referencia a la línea base, y hasta la fecha no se han reportado fallas debido al cambio de revestimiento (extensión del MTBF), la disponibilidad anual del molino SAG se vio aumentada en un 0,86% de acuerdo a los tiempos obtenidos durante los cambios de revestimientos de los molinos SAG.

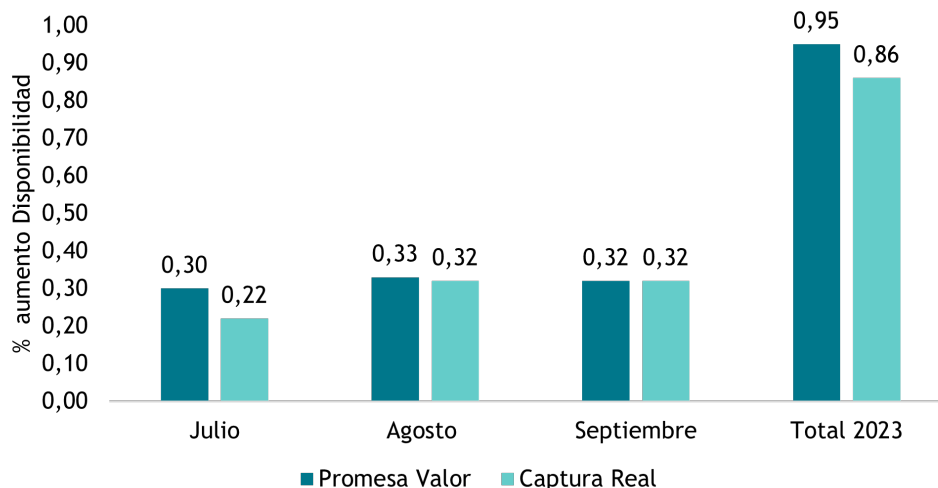


Figura 12.3: Evolución de aumento de disponibilidad.

En la figura 12.3 se puede visualizar que la implementación de trabajo estandarizado logró cumplir en un 90,74% de cumplimiento respecto al caso de negocio planteado.

## 12.4 Aumento total de producción

Al aumentar la disponibilidad anual del molino SAG en un 0,86%, aumenta la confiabilidad del equipo y podemos disponer de mayor uso de este, permitiendo de esta manera procesar mayor cantidad de material dentro del proceso productivo. Se calcula el aumento mensual de material procesado para el año 2023 considerando lo siguiente:

- **Horas nominales mes LB [hr]** = Disponibilidad LB [%] \* N° días del mes \* 24 [hr/día]
- **Horas efectivas mes LB [hr]** = Utilización [%] \* Horas nominales mes LB [hr]

Al tener las horas nominales y efectivas de la línea base, con el aumento de disponibilidad, se puede obtener:

- **Horas nominales con iniciativa [hr]** = (Disponibilidad LB + Aumento disponibilidad) [%] \* N° días del mes \* 24 [hr/día]

De acuerdo a la suposición de que la utilización y el rendimiento permanecen constantes, se calcula el aumento de horas nominales:

- **Aumento horas nominales [hr]** = Horas nominales con iniciativa [hr] - Horas nominales mes LB [hr]

Finalmente, el aumento de material procesado se calcula como:

- **Aumento material procesado [ton]**= (Aumento rendimiento [ton/hr] \* Horas efectivas mes LB [hr]) + (Aumento rendimiento [ton/hr] \* Aumento horas nominales [hr]) + (Rendimiento LB [ton/hr] \* Aumento horas nominales [hr])

De todo el material procesado, es importante conocer la cantidad de cobre recuperado, pues este corresponde al principal producto de minera Los Pelambres. Este se calcula como:

- **Aumento total producción [ton Cu]**= (Disponibilidad LB [%] \* Utilización LB [%] \* Rendimiento LB [%] \* 24 [hr/día] \* N° días del mes \* Aumento recuperación Cu [%] \* Ley de entrada Cu [%] \* Recuperación [%]) + (Aumento material procesado [ton] \* Ley de entrada Cu [%] \* (Recuperación [%]+Aumento recuperación Cu [%]))

Así, de acuerdo a la información de la calculadora que se ocupa a nivel de grupo minero, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12.2: Aumento de producción MLP.

| Mes                | Aumento de material procesado [ton] | Aumento total de producción por iniciativa [ton Cu] |
|--------------------|-------------------------------------|---|
| Enero              | 38.630                              | 250,02  |
| Febrero            | 39.768                              | 251,52  |
| Marzo              | 42.753                              | 258,60  |
| Abril              | 45.870                              | 265,59  |
| Mayo               | 48.010                              | 281,35  |
| Junio              | 43.335                              | 237,39  |
| Julio              | 46.891                              | 249,99  |
| Agosto             | 49.954                              | 273,64  |
| Septiembre         | 45.672                              | 243,10  |
| Octubre            | 49.919                              | 282,96  |
| Noviembre          | 48.375                              | 264,43  |
| Diciembre          | 50.533                              | 292,28  |
| <b>Total anual</b> | <b>549.709</b>                      | <b>3.148,86</b>                                     |

De la tabla anterior, gracias al aumento de la disponibilidad anual del 0,86%, se desprende un aumento de material procesado de 549.709 [ton], del cual se obtienen 3.148,86 [ton Cu] producido y aportado durante el año 2023.

## 12.5 Análisis O.E.E.

Para poder medir el O.E.E. o la eficiencia del área de molienda se utiliza la siguiente fórmula:

$$O.E.E. = Disponibilidad[\%] * Utilizacion[\%] * Rendimiento[\%] \quad (12.3)$$

De acuerdo al plan de producción 2023 de MLP, se cuentan con los siguientes datos:

- Disponibilidad: 93,36%
- Coeficiente de marcha (multiplicación entre utilización y rendimiento): 85,44%

De tal manera, que al calcular el O.E.E. de MLP se obtiene:

$$O.E.E. = 93,36[\%] * 85,44[\%] = 79,77\% \quad (12.4)$$

Suponiendo que todas las horas extras que se entregaron en disponibilidad del equipo a operaciones y que el rendimiento del molino SAG no sufrió variaciones, si al resultado anterior se suma el aporte de disponibilidad (0,86%), se obtiene lo siguiente:

$$O.E.E. = (93,36 + 0,86)[\%] * 85,44[\%] = 80,5\% \quad (12.5)$$

Finalmente, gracias al aumento de disponibilidad en el molino SAG, se aumentó de un 79,77% a un 80,5% la eficiencia del área de molienda en MLP.

## 12.6 Análisis económico

Dentro del análisis económico, se deben considerar los ingresos ganados gracias a la iniciativa, menos los costos que conlleva esta. A continuación se da detalle de los ingresos y costos:

- **Ingresos:** Corresponde al valor económico a capturado como consecuencia de la iniciativa. Se determina en base al valor del cobre transado en el London Metal Exchange (LME) del mes a realizar la evaluación. El ingreso adicional se calcula de la siguiente forma:

$$- \text{Ingresos} = \text{Aumento total producción [ton Cu]} * \text{Precio Cu [USD/Lb Cu]} * 2204.62 [\text{Lb Cu/ton Cu}]$$

- **Costos:** El cálculo de los costos mensuales se divide en tres componentes principales: los costos variables en la mina y en la concentradora, que representan los gastos adicionales relacionados con el transporte y procesamiento de material adicional en la planta; los costos

de TCRC y comercialización, que forman parte de los costos C1 y están asociados con la producción de cobre fino; y, por último, los costos de implementación, que se refieren a los gastos necesarios para llevar a cabo la iniciativa. Estos últimos costos corresponden al taller de análisis realizado y el costo por apoyo técnico, por un período de 6 meses (abril a septiembre). De esta manera, el cálculo de los costos mensuales se expresa como:

$$\begin{aligned}
 - \text{Costos} = & (\text{Variable mina [USD/Lb Cu]} * \text{Aumento material movido desde mina equiva-} \\
 & \text{lente [ton]}) + (\text{Aumento material procesado [ton]} * \text{Variable concentradora [USD/ton]}) \\
 & + ((\text{Costos TCRC} + \text{Costos comercialización}) * \text{Aumento total producción [ton Cu]} \\
 & * 2204.62 [\text{Lb Cu/ ton Cu}]) + \text{Costos implementación [USD]} + (\text{Variable chancado} \\
 & [\text{USD/ton}] * \text{Aumento material procesado [ton]})
 \end{aligned}$$

Finalmente, se calcula el EBITDA, lo cuál queda expresado como los ingresos menos los costos, detallándose en la siguiente tabla:

Tabla 12.3: EBITDA área molienda en USD

| Mes                | Ingresos [USD]    | Costos [USD]     | Gastos Implementación [USD] | EBITDA [USD]      |
|--------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| Enero              | 2.444.198         | 691.848          | -                           | 1.752.349         |
| Febrero            | 2.500.407         | 746.419          | -                           | 1.753.988         |
| Marzo              | 2.647.440         | 693.241          | -                           | 1.954.198         |
| Abril              | 2.704.549         | 688.082          | 13.187                      | 2.003.280         |
| Mayo               | 2.634.250         | 819.006          | 9.890                       | 1.805.354         |
| Junio              | 2.144.364         | 694.538          | 9.890                       | 1.439.935         |
| Julio              | 1.882.345         | 667.403          | 9.890                       | 1.205.052         |
| Agosto             | 2.178.412         | 694.586          | 9.890                       | 1.473.937         |
| Septiembre         | 1.880.269         | 601.928          | 9.890                       | 1.268.450         |
| Octubre            | 2.156.503         | 732.943          | -                           | 1.423.559         |
| Noviembre          | 2.107.285         | 721.834          | -                           | 1.385.451         |
| Diciembre          | 2.445.560         | 728.427          | -                           | 1.717.133         |
| <b>Total anual</b> | <b>27.725.580</b> | <b>8.480.257</b> | <b>62.637</b>               | <b>19.182.686</b> |

De acuerdo con la tabla anterior, al deducir los costos, que suman un total de 8.480.257 [USD], además de los gastos de implementación que ascienden a 62.637 [USD], de los ingresos anuales totales de 27.725.580 [USD], se obtiene un EBITDA anual de beneficio por un total de 19.182.686 [USD] para MLP.

# Capítulo 13

## Conclusiones y recomendaciones

La implementación del modelo de gestión de activos y mantenimiento, junto con herramientas de mejora continua como el trabajo estandarizado, ha demostrado alinear los objetivos globales de la organización con los del mantenimiento, permitiendo la identificación y reducción de desperdicios en las tareas de mantenimiento. Este enfoque ha generado oportunidades de mejora y planes de acción que han conducido a la excelencia operacional.

En el marco de este trabajo, se logró la recopilación de información y experiencia de cada trabajador, involucrándolos y empoderándolos en la creación del estándar y el desarrollo de la tarea de mantenimiento, con el objetivo de impulsar cambios culturales. De esta manera, los mantenedores fueron reconocidos, escuchados y valorados, aumentando sus motivaciones y generando mayor confiabilidad humana en la ejecución de la tarea.

Específicamente en el cambio de revestimiento de los molinos SAG, la introducción del trabajo estandarizado ha tenido un impacto significativo. Se destacan medidas como el cambio de estrategia en el proceso, pasando de 5 giros a 10 giros con botado a piso para mitigar el riesgo de trabajo en altura. Además, se identificó que inicialmente el 49% del tiempo dedicado al mantenimiento se consumía en desperdicios internos, equivalente a 77,7 [hr]. Sin embargo, a medida que se implementaron las fases de la herramienta, se logró reducir progresivamente las horas dedicadas a desperdicios, alcanzando un 10% del tiempo total de mantenimiento, equivalente a 7,53 [hr]. Esta reducción se tradujo en una disminución notable del tiempo de actividad para el cambio de revestimiento de los molinos SAG, reduciendo el MTTR de 157,6 [hr] en marzo a 72,1 [hr] en el año 2023.

Estas mejoras han tenido un impacto directo en la disponibilidad del equipo, que aumentó en un 0,86%, reflejándose en mejoras sustanciales en la eficiencia del equipo, el material procesado y la producción de cobre. Desde el punto de vista económico, esta optimización ha generado un aporte financiero de 19,18 [MUSD] durante el año 2023.

La reducción del MTTR, la prolongación del MTBF (sin experimentar fallas en los reves-

timientos hasta la fecha), el fortalecimiento del personal involucrado y la comprensión del trabajo estandarizado han contribuido a elevar la confiabilidad operacional y la disponibilidad del equipo.

De este modo, se dan por cumplido los objetivos específicos del trabajo. Se llevó a cabo la identificación del contexto global y operacional de MLP mediante un análisis del estado del arte y revisión de los antecedentes de la empresa. Se identificaron los riesgos asociados al contexto global a través de un análisis PESTAL, y un análisis de criticidad para el caso del contexto operacional. Se analizaron los riesgos del contexto global a través de un análisis FODA, y mediante un análisis de impactos por probabilidad de los riesgos para el caso del contexto operacional, donde se establece al molino SAG como un equipo crítico. Se profundizó en el análisis de los riesgos asociados al cambio de revestimiento de este equipo mediante la herramienta mnemotécnica de las 6M's.

Los riesgos identificados fueron evaluados y jerarquizados en ambos contextos. Se desarrolló y aplicó un plan de mitigación utilizando la herramienta Lean de trabajo estandarizado en el cambio de revestimiento de los molinos SAG. Como etapa final, se llevó a cabo una evaluación económica que arrojó resultados positivos, consolidando así el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Entre las limitaciones del trabajo, se destaca que la captura de información se centró únicamente en la actividad de cambio de revestimiento del molino SAG, excluyendo, por ejemplo, la parada y puesta en marcha del molino. Además, la captura de información en terreno está expuesta a errores humanos en el registro y el tiempo registrado.

Como recomendaciones futuras, se sugiere realizar dos iteraciones adicionales para mejorar y lograr adherencia al estándar, con el propósito de establecer un documento oficial que facilite la comprensión de la tarea de cambio de revestimiento de un molino SAG, estableciendo roles clave y mejores prácticas. Se resaltan oportunidades de mejora post mortem tras la última iteración, que podrían conducir a resultados superiores en el cambio de revestimiento del molino SAG, siempre con el objetivo de realizar la actividad de manera segura, fácil y de mejor calidad. Además, se considera interesante extender la aplicación de la herramienta Lean no solo al cambio de revestimientos de molinos SAG, sino también a otras actividades críticas, como las paradas y puestas en marcha de este equipo, estableciendo estándares en las herramientas utilizadas y aplicando la herramienta a otros equipos críticos en el proceso productivo de MLP.

En resumen, la implementación del trabajo estandarizado ha demostrado ser una estrategia eficaz para potenciar la eficiencia y optimizar los resultados económicos en el mantenimiento de los molinos SAG de MLP. La reducción significativa de desperdicios no solo ha generado un valor tangible para los clientes, sino que también ha fortalecido la integridad operacional de la empresa al dar prioridad a la seguridad, la confiabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad.

Minera Los Pelambres ha validado de manera concluyente los valores obtenidos y los resultados alcanzados, asegurando la plena conformidad con las expectativas previas. Este enfoque estandarizado se ha integrado en la cultura de la empresa, convirtiéndose en una parte integral de

sus operaciones. La empresa se destaca como líder en los cambios de revestimientos de molinos SAG, consolidando su posición a nivel nacional y alineándose con su misión de ser la minera más segura y productiva del mundo.

Este compromiso refuerza nuestra posición como referente en la industria minera, subrayando nuestra dedicación a la excelencia y destacando su papel como pioneros en la implementación de prácticas innovadoras que impulsan el progreso sostenible en el sector.

# Referencias

- Arata, A. (2009). *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*. RIL.
- Arata, A. and Furnaletto, L. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento*. RIL.
- BHP (2023). <https://www.bhp.com/es/news/articles/2019/07/la-estandarizacion-mantiene-activos-a-los-camiones-mineros>.
- Cardemil, M. (2023). Impactos socioeconómicos de la minería en Chile. Technical report, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Cassinelli, F. P. (2022). Estandarización en el mantenimiento de camiones de extracción de alto tonelaje. Master's thesis, Universidad de Chile.
- Cochilco (2021). Inversión en la minería chilena-cartera de proyectos 2021-2030. Technical report, Cochilco.
- Cochilco (2022). Indicadores de productividad de la minería del cobre en Chile al 2021. Technical report, Cochilco.
- Codelco (2019). Memoria anual 2019 Codelco. Technical report, Codelco.
- Dunstan, K., Lavin, B., and Sanford, R. (2006). The application of lean manufacturing in a mining environment. Technical report, International Mine Management Conference.
- FLS (2023). *Instructivo de Trabajo: Cambio de revestimiento y mantenimiento general molino SAG*. FLS.
- Hattingh, T. and Keys, O. (2010). How applicable is industrial engineering in mining? Master's thesis, University of the Witwatersrand.
- Jones, D. T. and Womack, J. P. (2003). *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Gestión 2000.

- Klippel, A. F., Petter, C. O., and Valle JR, J. A. (2008). Lean management implementation in mining. *DYNA*.
- Minero, C. (2023). Cifras actualizadas minería. Technical report, Consejo Minero.
- Ortiz, M. A. (2018). Modelo de mejoramiento del negocio en teck qb. Master's thesis, Universidad de Chile.
- Pelambres, M. L. (2023). Proceso productivo 2023, plan de producción 2023, full potential 2.0 2022, candidatos para aplicar trabajo estandarizado 2022, estudio de vsm 2020, equipos críticos planta concentradora 2022, capacitación trabajo estandarizado 2022, proyecto inco 2023, data histórica r-mes. Recuperado el 2023 en Minera Los Pelambres.
- PLC, A. (2022). Developing mining for a better future: Annual report and financial statements 2022. Technical report, Antofagasta PLC.
- Valdenegro, R. (2023). Presentaciones de ingeniería de mantenimiento.
- Wijaya, A., KUMAR, R., and KUMAR, U. (2009). Implementing lean principle into mining industry issues and challenges. Technical report, International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection.
- Yingling, J. C., Detty, R. B., and JR., J. S. (2000). Lean manufacturing principles and their applicability to the mining industry. *Mineral Resources Engineering*.
- Álvarez, M. N. (2022). Implementación del sistema de gestión c+ (lean management) durante el ramp up del proyecto planta de tratamiento de escorias, división el teniente de codelco. Master's thesis, Universidad de Chile.

# Anexos

# Anexo A

## Antecedentes de la Empresa

Antofagasta Minerals S.A. es un grupo minero internacional, con base en Chile, y uno de los 10 mayores productores de cobre en el mundo. Antofagasta Minerals es filial de Antofagasta PLC, y actualmente opera 4 compañías mineras (Zaldívar, Antucoya, Centinela y Los Pelambres), además de un proyecto en Minnessota, Estados Unidos.

Minera Los Pelambres tiene su historia a eso del año 1914, cuando William Braden Burford exploró el área de depósito de Los Pelambres. Entre los años 1964 y 1971, ENAMI realizó una exploración con el fin de definir el potencial del depósito mismo. En 1978, Anaconda Minerals adquiere a ENAMI los derechos sobre Pelambres para que luego en 1985 sea adquirido por Antofagasta Holdings. En 1978 Pelambres inicia su operación subterránea a pequeña escala (5 [ktpd]). En 1997 se aprueba el EIA, inicio y construcción del proyecto minera Los Pelambres con 85 [ktpd]. Finalmente, en 1999 inicia su puesta en marcha con una capacidad de 85 [ktpd].

Actualmente, minera Los Pelambres es una mina a cielo abierto, donde los productos que se obtienen en su mayoría corresponden a concentrado de cobre y molibdeno. Sus principales mercados en el mundo son: Japón (35%), China (29%), Resto de Asia (19%) y Europa (12%). Adicionalmente se incluyen subproductos pagables contenidos en el concentrado de cobre, como lo es el oro y la plata. Corresponde a uno de los diez mayores productores de cobre en el mundo y quinto a nivel nacional. Representan el 1% del PIB nacional y el 25% del PIB regional. Sus instalaciones recorren 120 [km] desde la cordillera de los Andes hasta el océano pacífico, pasando por las comunas de Salamanca, Illapel y Los Vilos, lugar donde se encuentra el puerto de embarque, en el sector de Punta Chungo, en un entorno donde coexisten más de 40 comunidades y 84 mil habitantes, quienes desarrollan tradicionales actividades económicas como: agricultura, ganadería de subsistencia, pesca y minería artesanal.

## A.1 Propósito, misión, visión y valores

Minera Los Pelambres es parte de Antofagasta Minerals, el principal Grupo Minero privado del país y uno de los diez mayores productores del mundo. Su **propósito** como empresa corresponde a *”ser la minera más segura y productiva del mundo”*

Minera Los Pelambres tiene como **misión**:

- Asegurar que el crecimiento de la compañía se traduzca en un mayor beneficio para todos los grupos de interés.
- Fortalecer las relaciones con los grupos de interés para posibilitar el crecimiento.
- Asegurar la excelencia operacional y desarrollar relaciones de confianza y mutuo beneficio con los grupos de interés.

Dentro de su **visión**, se menciona la búsqueda de ser una empresa productora de cobre y derivados de alta rentabilidad, con una reconocida reputación de excelencia operacional y confiabilidad, proactiva e innovadora en los ámbitos económicos, social y ambiental, percibida como un socio estratégico en el desarrollo de la región de Coquimbo.

Finalmente, se establecen como los **valores** de la empresa:

1. Respeto a los demás: Confiamos y respetamos a las personas y tenemos un genuino interés por su bienestar. Su opinión nos importa y nos relacionamos de forma abierta y colaborativa. Construimos confianza al cumplir con nuestros compromisos.
2. Responsabilidad por seguridad y salud: Somos responsables de nuestra seguridad y salud, así como la de los demás, identificando y controlando nuestros riesgos y siendo conscientes de los impactos que generan nuestras acciones.
3. Compromisos con la sustentabilidad: Entendemos que el compromiso con la sustentabilidad pasa por crear valor en lo económico, en lo ambiental y en lo social. Respetamos a nuestros entornos y nos relacionamos con ellos de forma proactiva.
4. Excelencia en el desempeño diario: Trabajamos para alcanzar siempre mejores resultados a través de la disciplina operacional, siendo austeros, eficientes y cuidando nuestros recursos.
5. Innovación como práctica permanente: Reconocemos y fomentamos las nuevas ideas que permiten mejorar nuestras prácticas de trabajo y las maneras de relacionarnos con otros, buscando crear valor para la organización, las personas y el entorno.
6. Somos visionarios: Consiste en entender que la estrategia de nuestro negocio es de largo plazo, aprendiendo de nuestros errores y teniendo flexibilidad y coraje para enfrentar desafíos cambiantes.

## A.2 Organigrama de la Empresa

Antofagasta Minerals S.A. opera actualmente con cuatro divisiones mineras, las cuales corresponden a Zaldívar, Antucoya, Centinela y Los Pelambres.

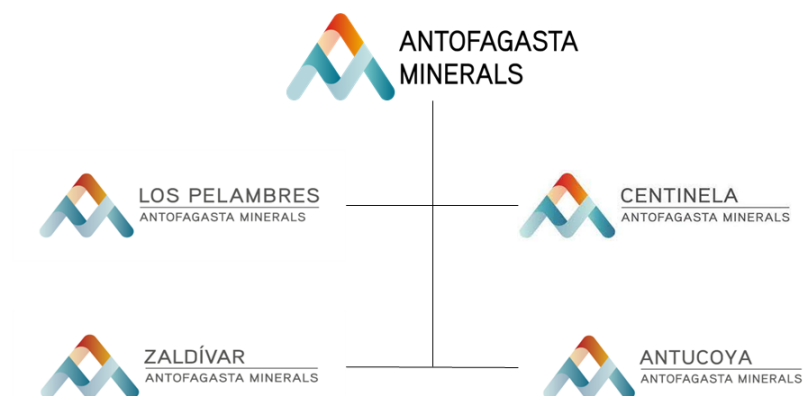


Figura A.1: Divisiones de Antofagasta Minerals (elaboración propia).

Actualmente minera Los Pelambres se encuentra liderada por el gerente general Alejandro Vásquez Montero, donde se subdivide en ocho gerencias, de las cuales se pueden visualizar en la siguiente figura:

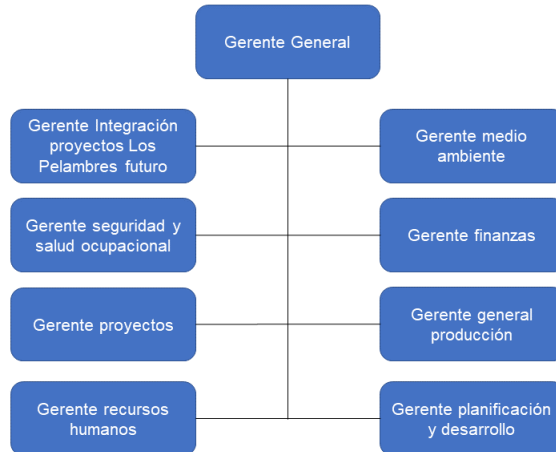


Figura A.2: Estructura organizacional gerencias MLP (elaboración propia).

La gerencia donde se desarrolló la memoria corresponde a la de excelencia operacional, específicamente en la superintendencia de gestión de programas, en detallado en la siguiente figura:

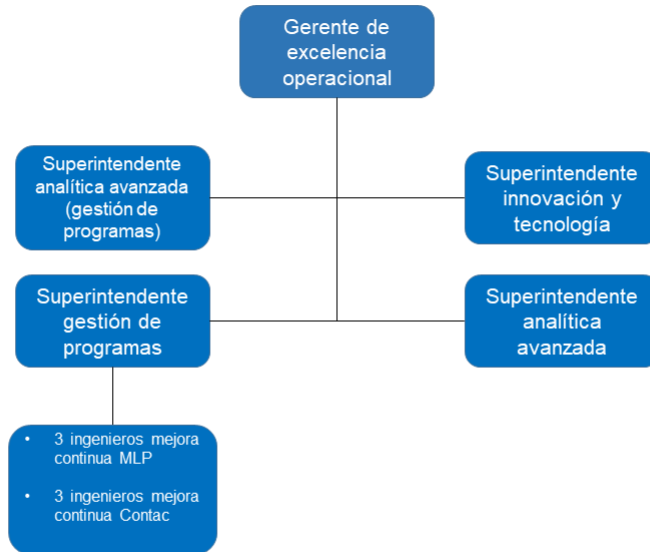


Figura A.3: Estructura organizacional gerencia de excelencia operacional (elaboración propia).

### A.3 Ubicación y Accesos

Esta minera está ubicada a 45 [km] al este de la ciudad de Salamanca, provincia de Choapa, región de Coquimbo, en plena cordillera de Los Andes a 3600 [m.s.n.m].

El acceso a las instalaciones de la minera se realiza tanto de forma terrestre como aérea. Para el caso terrestre, la ruta a seguir es la D-85 en el sector de Los Vilos, o ruta D-65 en la salida de Huentelauquén, ambas conectadas por la ruta 5N. Por otro lado, el acceso aéreo se realiza a través de un aeródromo privado con el que cuenta la empresa en sus instalaciones.



Figura A.4: Ubicación Minera Los Pelambres (Pelambres, 2023).

### A.4 Producción

Minera Los Pelambres cuenta actualmente con producción de concentrado de cobre y molibdeno, más otros metales que contienen el propio concentrado (oro y plata). Para eso del 2022, minera Los Pelambres produjo 275.000 [ton], con ganancias de \$2.559 [MUSD] y un EBITDA de \$1.473 [MUSD]. De esta manera, mantiene el liderazgo entre las cuatro operaciones del Grupo Antofagasta Minerals en Chile con un poco más de 50% de la producción anual en Chile.

Respecto a los costos, minera Los Pelambres en el año 2022 registró costos operacionales de \$1,10 [USD/Lb]. En el año 2023, se proyecta un incremento en la producción de cobre de entre 320.000 y 350.000 [ton], con un aumento en los costos operacionales de \$1.25 [USD/Lb].

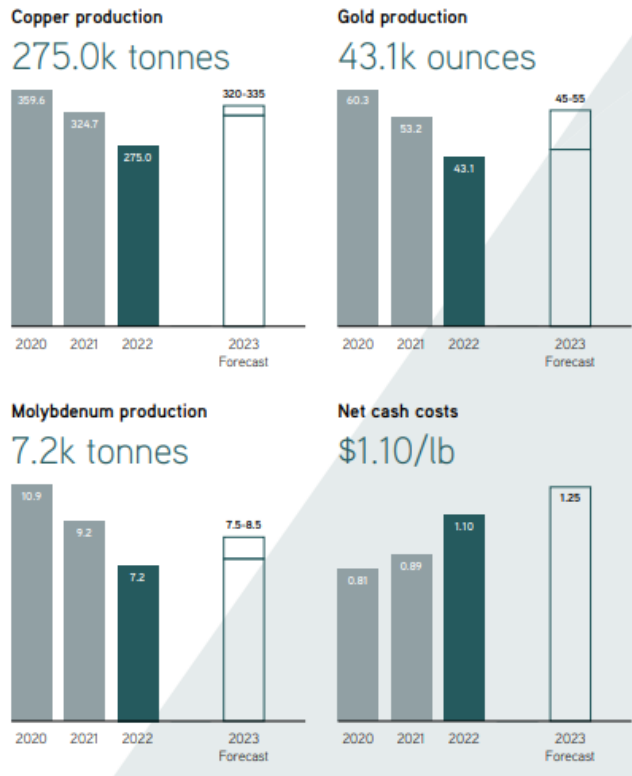


Figura A.5: Resultados de producción MLP (PLC, 2022).

## A.5 Descripción del Proceso Productivo

El proceso productivo de minera Los Pelambres es una larga lista de operaciones que se realizan desde la mina hasta el sector puerto para poder finalmente entregar lo que es el producto final, concentrado de cobre. En primer lugar, se extrae el mineral a través de una mina de cielo abierto, para que luego sea tronado y cargado a través de los camiones de alto tonelaje (400 [ton]) hasta el sector de chancado primario. En esta etapa, el mineral es reducido en un tamaño granulométrico de 7” 3/4 [in] y enviado hacia el área de procesamiento a través de correas transportadoras, también llamado STMG, que recorre aproximadamente 13 [km], llegando a acumularse en un stock pile. Desde el stock pile, pasa al sector de molienda, al cual cuenta con 3 molinos SAG y 6 molinos de bolas, los cuales se encargan de triturar reducir aún más el tamaño del mineral para facilitar su separación y liberación de las partículas de cobre. Una vez se alcanza el tamaño necesario, el mineral entra al proceso de flotación, donde al mineral de cobre sulfurado se le agrega agua, reactivos y aire, para luego ser agitado hasta hacerlo burbujear, consiguiendo el arrastre a la superficie del mineral. Luego, este pasa al proceso de espesamiento para aumentar la concentración de cobre, resultando finalmente en el producto que es enviado a través de ductos a Punta Chungo, en Los Vilos. Finalmente, en este sector pasa por un proceso de secado con el objetivo de llegar a

la humedad requerida para ser embarcado en los buques hacia su destino final.

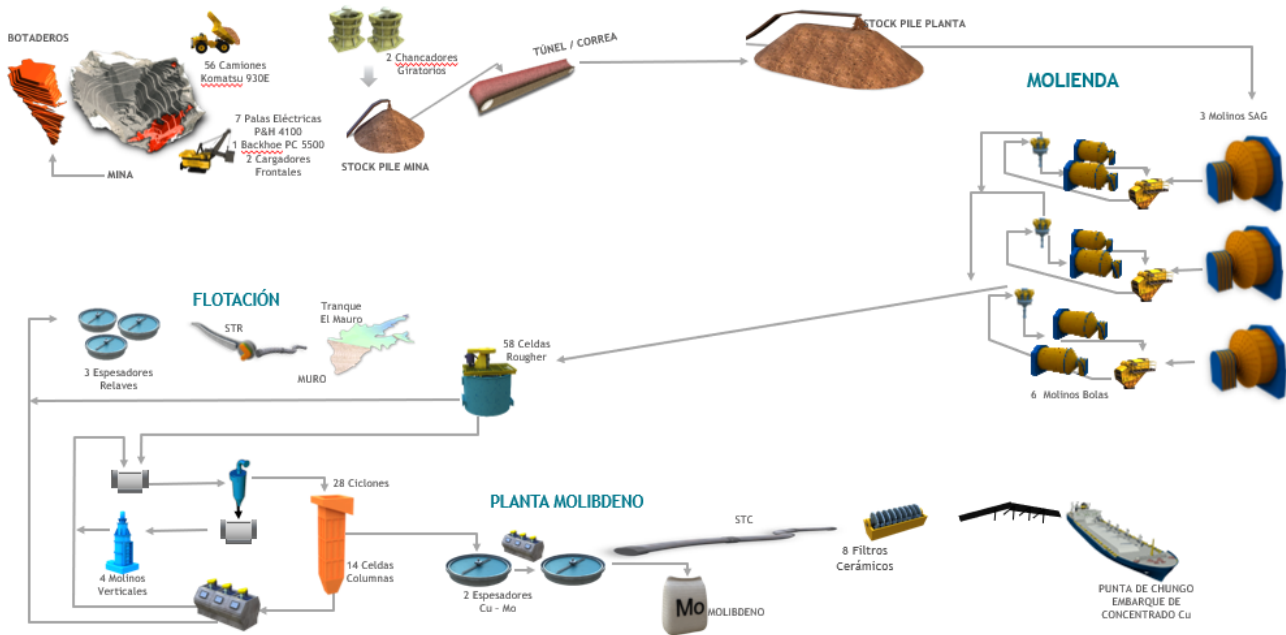


Figura A.6: Diagrama de flujo general Minera Los Pelambres (Pelambres, 2023).

### A.5.1 Operación Mina

El proceso productivo comienza a través de la extracción del mineral de cobre en la corteza terrestre, con el objetivo de obtener los productos que comercializa la compañía (concentrado de cobre y óxido de molibdeno como subproducto). La extracción se realiza a través de la mina de cielo abierto, ubicada en la cordillera de Los Andes a 3600 [m.s.n.m.] donde a través una planificación dada se realiza la explotación de acuerdo con los criterios estratégicos de la compañía.

Una vez identificada la estrategia, y sectores a explotar, se procede a realizar operaciones de perforaciones y tronaduras para poder fragmentar el material en sí. El material explotado se extrae a través de equipos de carguío de alto tonelaje que cargan material en los camiones CAEX con una capacidad nominal del 290 [ton] que tienen como función el transporte del material hacia el sector de chancado.

Una vez cargado el camión CAEX, este se dirige al sector de chancado, donde se cuenta con dos chancadores Gy. 60"x110" 1000 [HP] con capacidad de 9000 [tph]]. En este se descarga el material, y con ayuda del picarocas, los chancadores comienzan a reducir el tamaño de mineral recién depositado para luego, a través de 2 correas transportadoras, que cuentan con capacidad de 14 [ktph] y longitud de 236 [m], se vaya acumulando el mineral en el stock pile mina. Desde el stock pile mina, que tiene una capacidad de acopio de 18 [kton] vivas, los feeders se encargan de alimentar de material al STMG compuesto por 3 correas transportadoras (todas con capacidad de

8000 [tph] y longitudes de 12.048, 10.790 y 3.147 [m]), las cuales transportan el producto desde el sector mina hasta el stock pile ubicado en la planta concentradora (aproximadamente 26 [km] de recorrido).

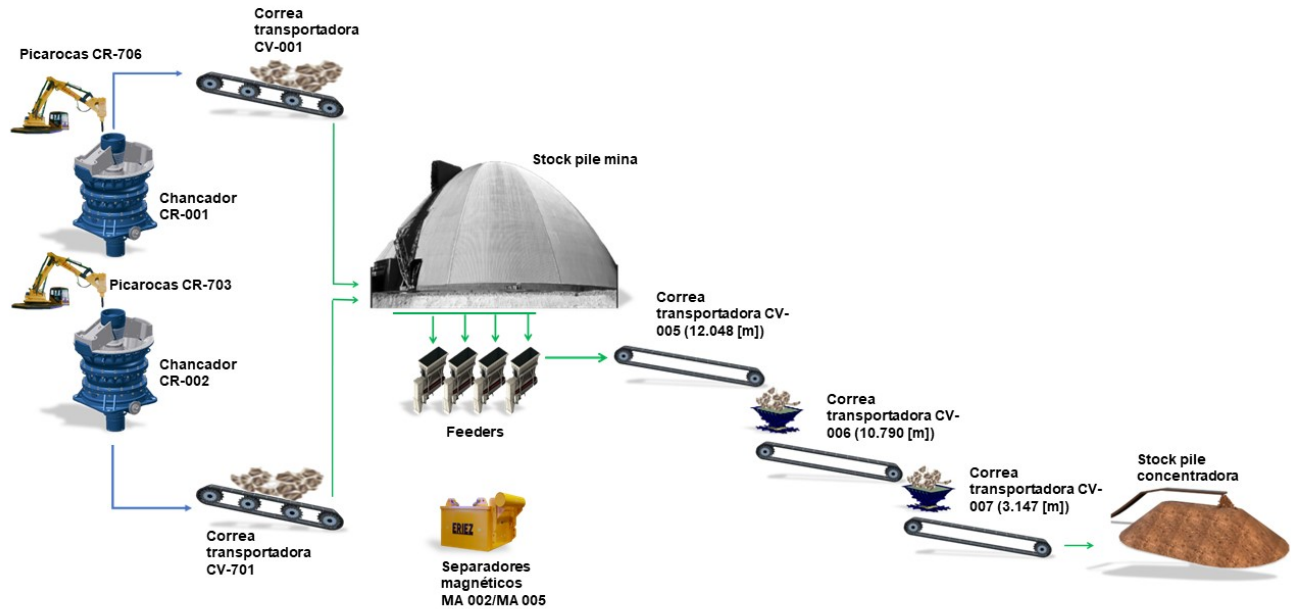


Figura A.7: Diagrama de flujo sector mina Los Pelambres (Pelambres, 2023).

## A.5.2 Proceso de Molienda

Esta etapa corresponde a la más importante para este estudio, ya que el análisis posterior se desarrolló específicamente en los molinos SAG.

Una vez que el material llega al stock pile de la planta concentradora desde el sector mina, se somete a un proceso de conminución para lograr una óptima liberación de las partículas de mineral de cobre y molibdeno. El proceso de molienda se lleva a cabo en el sector de molienda, que está compuesto por tres molinos SAG, que son el primer paso en la segunda etapa de la conminución. Estos molinos tienen una configuración fraccionada de 36'x17' y una potencia nominal de 20000 [kW]. El producto obtenido de la molienda SAG pasa a través de unos arneros vibratorios con un P80 de 11 [mm], lo que significa que el 80% del mineral tiene una granulometría menor a 11 [mm]. El material con una granulometría mayor, conocido como "pebble", pasa por los chancadores de pebble y vuelve al circuito del molino SAG. El material con un tamaño de partícula inferior a 11 [mm] se bombea a la cuba mediante slurry pumps y se dirige a los seis molinos de bolas, cinco de los cuales tienen una configuración de 21'x33.5' y una potencia nominal de 10600 [HP], mientras

que el sexto es de 26'x40' con una potencia nominal de 20700 [HP]. Después de este proceso, se realiza la clasificación del mineral mediante tres baterías de 14 hidrociclones de 33' de diámetro. Dependiendo de la granulometría deseada, el producto fino entre 210-230 [ $\mu\text{mm}$ ] se envía para la flotación, mientras que el producto con una granulometría mayor se devuelve a los molinos de bolas.

### **A.5.3 Proceso de Flotación**

La flotación se realiza en 3 etapas: Primaria, Cleaner y Scavenger, además de un proceso de molienda de 4 molinos que normalmente se lleva a cabo en molinos verticales. La flotación primaria se realiza en 36 celdas de 127 [ $m^3$ ] y 22 celdas de 250 [ $m^3$ ], donde el concentrado de flotación primaria es enviado a re-molienda y la cola es enviada a la etapa de espesamiento de relaves. La etapa de flotación de limpieza, también conocida como "Cleaner", está integrada por un conjunto de 14 celdas columnares de gran tamaño, con un diámetro de 4 [m] y una altura de 14 [m]. Para la etapa de flotación de repaso, se utilizan 3 bancos de celdas de 127 [ $m^3$ ] cada uno, con el propósito de procesar las colas de flotación y los concentrados de flotación primaria. En cuanto a los concentrados de flotación Scavenger, estos son enviados a una etapa de remolienda con el objetivo de aumentar la recuperación de los minerales valiosos, mientras que los relaves son enviados a un proceso de espesamiento de relaves para recuperar el agua.

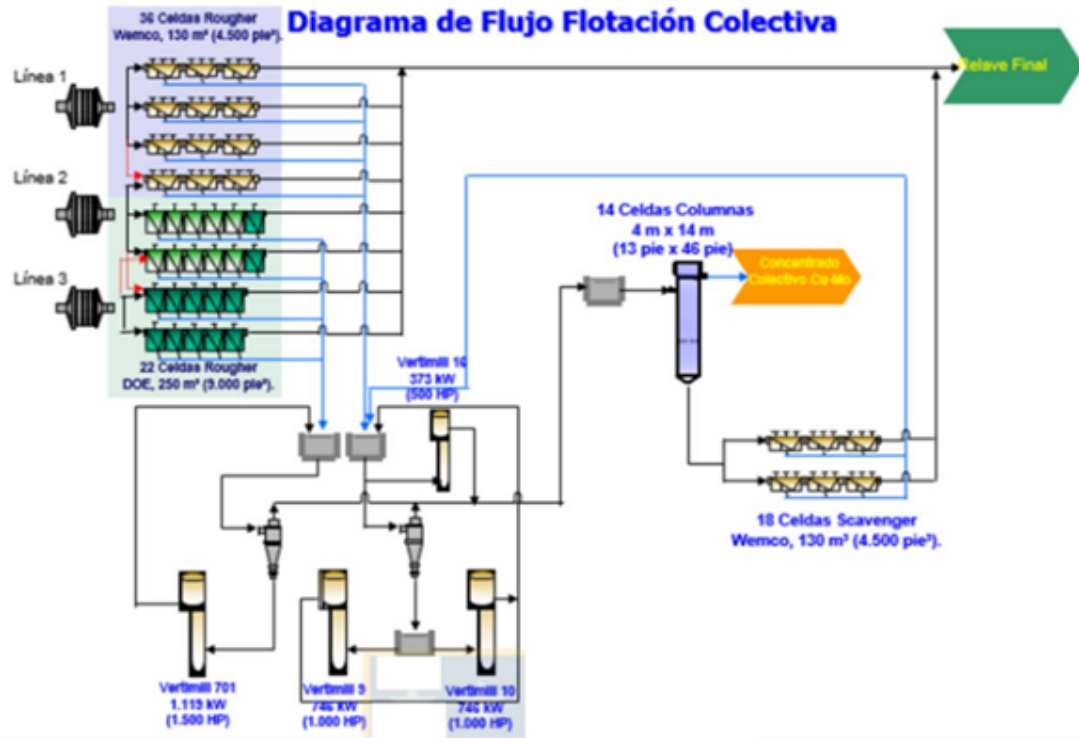


Figura A.8: Diagrama de flujo flotación colectiva (Pelambres, 2023).

#### A.5.4 Espesado, Filtrado y Secado

En esta etapa del proceso, el concentrado de cobre alcanza una concentración de sólidos del 60% en el espesador de cobre-molibdeno, que tiene un diámetro de 140 [ft]. Luego, se envía a la planta de molibdeno para su posterior tratamiento mediante lixiviación férrica y flotación, lo que da lugar a la generación de concentrados de cobre con una ley del 35%. Estos concentrados son transportados mediante un conducto concentrado a la planta de filtro y secado con el fin de alcanzar una humedad no superior al 10%. En esta planta, también se produce concentrado de molibdeno con una ley del 55%, que se encuentra en la localidad de Chacay. Para su transporte y posterior comercialización, el concentrado de molibdeno se envasa en sacos y se transporta en camiones. Todo el proceso es esencial para la obtención de concentrados de cobre y molibdeno de alta calidad y es un componente clave en la industria minera.

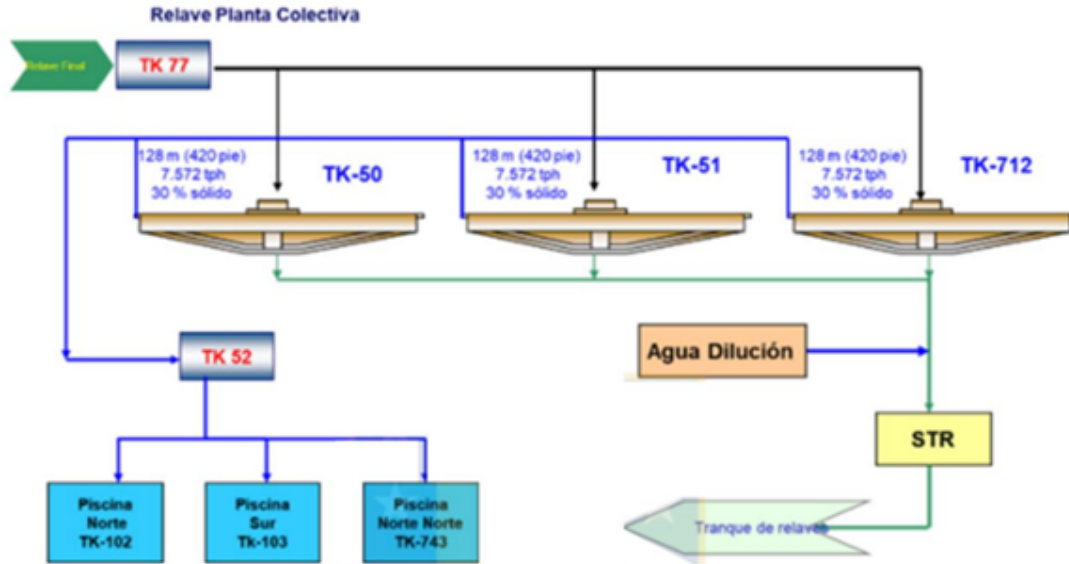


Figura A.9: Diagrama de flujo planta colectiva (Pelambres, 2023).

### A.5.5 Tranque

Un tranque de relaves es una obra de ingeniería diseñada para almacenar los residuos de la minería, conocidos como relaves. Básicamente, estos residuos consisten en roca molida que se extrae de la mina después de la extracción de metales como cobre y molibdeno, entre otros. Para procesar los relaves de manera segura y sostenible, se utilizan sustancias biodegradables y no tóxicas. El tranque de relaves tiene como objetivo principal asegurar la estabilidad del relave y recuperar el agua que se utiliza para su transporte. Los relaves generados en el circuito de flotación tienen una concentración del 60% de sólidos y un 40% de líquidos. Estos se transportan en forma de pulpa a través de canales que conectan con el Tranque de Relaves El Mauro, ubicado a 160 [km] de distancia de la planta de concentración. En el Tranque El Mauro, el relave se clasifica según su granulometría, separando el material en arenas y lamas mediante baterías de hidrociclones. Las arenas se utilizan para levantar el muro de contención del tranque, mientras que las lamas son enviadas a la cubeta. Allí, se lleva a cabo un proceso de recuperación de agua mediante una estación de balsas. Una vez recuperada, el agua se conduce de vuelta a la planta para ser utilizada en distintos procesos.



Figura A.10: Tranque El Mauro minera Los Pelambres (Pelambres, 2023).

El Tranque de Minera Los Pelambres se encuentra actualmente ubicado a 12 [km] de la localidad de Caimanes en la comuna de Los Vilos. Con una capacidad de depósito de 1.700 millones [ton] de relaves, el Tranque El Mauro fue diseñado y construido con los más altos estándares de seguridad estructural y ambiental.

Durante su operación y en su posterior cierre y abandono, se garantiza su seguridad total. El depósito cuenta con la aprobación de importantes organizaciones internacionales, como el Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), lo que demuestra su cumplimiento con los estándares técnicos más exigentes tanto en Chile como en todo el mundo.

### **A.5.6 Puerto Punta Chungo y Proceso de Filtrado**

El concentrado de cobre es transportado a través de un concentraducto de 120 [km] de longitud, desde su origen en la cota 1.600 [m.s.n.m.], hasta la ciudad de Los Vilos. Desde allí, el mineral es embarcado en el Puerto Punta Chungo con destino a distintos puntos del mundo. El concentraducto, una tubería de 7 [in] de diámetro totalmente revestida, finaliza en el puerto, que se encuentra a nivel del mar. En la Comuna de Los Vilos, el concentrado que presenta la misma concentración que el espesado, es decir, un 60 % de sólidos, es transportado a través de un conducto de concentrado de 120 [km] de longitud y 7 [in] de diámetro hasta el proceso de filtrado. El objetivo de este proceso es reducir el contenido de agua del concentrado del 40% al 9% de humedad. En promedio, Puerto Punta Chungo recibe 6 barcos al mes cargados con concentrado de cobre proveniente de Minera Los Pelambres. Este mineral es transportado principalmente a mercados de Asia y Europa.



Figura A.11: Puerto Punta Chungo (Pelambres, 2023).

## Anexo B

### Descripción del Molino SAG

El molino SAG, que significa molino semiautógeno, es un tipo de molino que utiliza una combinación de mineral y un cierto porcentaje de bolas de acero como medio de molienda para triturar o moler el material en partículas más pequeñas. Estos molinos son comúnmente utilizados en la industria minera para procesar grandes cantidades de mineral.

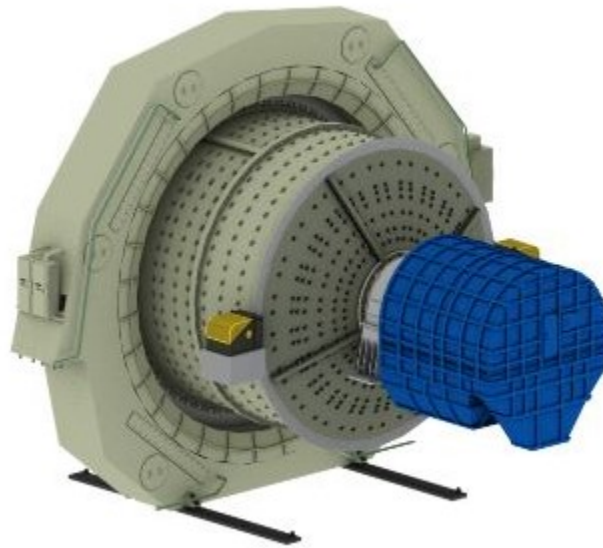


Figura B.1: Molino SAG MLP (Pelambres, 2023).

Minera Los Pelambres actualmente MLP cuenta con 3 molinos SAG, donde cada uno procesa aproximadamente 1/3 de la producción total. Son del tipo Fuller-Taylor, provisto por el fabricante FLSmidth. Tienen un diámetro de 38 [pies] (11,58 [m]) y una longitud de 19 pies (5,79 [m]). Es del tipo de trituración húmeda y descarga por rejilla, con un diámetro interior de 11,582 [m] y una longitud eficaz de trituración (EGL) de 5,792 [m]. Este equipo es accionado por un motor periférico de 20.000 [kW].

Tabla B.1: Especificaciones generales del molino SAG.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| TAG                                  | 0320-ML5001                              |
| Fabricante                           | FLSmidth                                 |
| Modelo                               | 38 x 19 [pies] SAG MILL                  |
| Tipo                                 | Trituración húmeda, descarga por rejilla |
| Capacidad de diseño                  | 2.718 [ton/h]                            |
| Capacidad nominal                    | 3.400 [ton/h]                            |
| Potencia del motor                   | 20.000 [kW] (26.820 HP)                  |
| Tamaño del producto alimentación     | 95 [ $\mu\text{m}$ ]                     |
| Tamaño del producto final            | 3- 4 [ $\mu\text{m}$ ]                   |
| Velocidad de giro                    | 9,56 [RPM]                               |
| Diámetro interior                    | 11,582 [m] (38 [pies])                   |
| Longitud                             | 6,706 [m] (22 [pies])                    |
| Longitud eficaz de trituración (EGL) | 5,792 [mm] (19 [pies])                   |
| Peso de los revestimientos           | 681.000 [kg]                             |
| Velocidad crítica del molino         | 72-82%                                   |
| Tamaño de bolas                      | 140 [mm] (5,5")                          |
| Volumen de carga de bolas            | 10-20%                                   |
| Tipo de unidad                       | Gearless                                 |
| Tipo de motor                        | Motor de anillo "Wrap Around"            |

### B.0.1 Componentes principales

Los principales componentes externos del molino SAG se pueden visualizar en la siguiente figura:

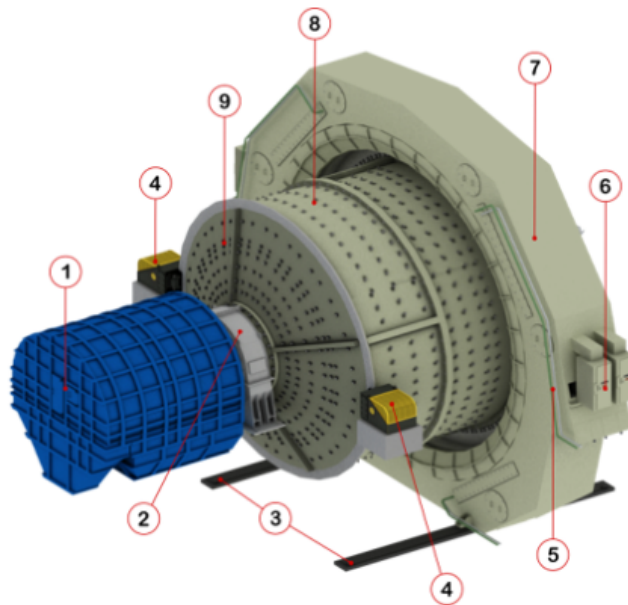


Figura B.2: Componentes externos principales del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.2: Lista de componentes externos principales del molino SAG

| N° | Denominación del componente               | Cant. |
|----|---|-------|
| 1  | Trommel                                   | 01    |
| 2  | Cojinete del lado de descarga             | 01    |
| 3  | Barras de soporte del molino              | 02    |
| 4  | Frenos cáliper (1 freno cáliper por lado) | 02    |
| 5  | Tuberías de refrigeración                 | -     |
| 6  | Cicloconvertidor                          | 01    |
| 7  | Motor síncrono                            | 01    |
| 8  | Cuerpo del molino                         | 01    |
| 9  | Tapa del lado de descarga                 | 01    |

Los componentes internos principales se visualizan en la siguiente figura:

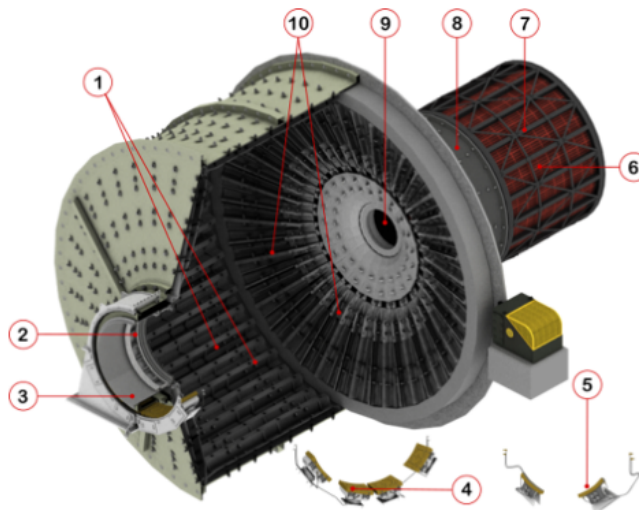


Figura B.3: Componentes internos principales del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.3: Lista de componentes internos principales del molino SAG

| N° | Denominación del componente                | Cant. |
|----|--|-------|
| 1  | Revestimientos interiores                  | -     |
| 2  | Anillo de levante                          | 01    |
| 3  | Trunnion de alimentación                   | 01    |
| 4  | Almohadillas de levantamiento              | 01    |
| 5  | Almohadillas de empuje                     | 01    |
| 6  | Mallas de poliuretano del trommel          | 01    |
| 7  | Bastidor de los paneles del trommel        | 01    |
| 8  | Trunnion descarga                          | 01    |
| 9  | Revestimiento de trunnion lado de descarga | 01    |
| 10 | Revestimientos del cabezal de descarga     | -     |

## Cuerpo del molino SAG

El cuerpo del molino SAG, es de acero al carbono (ASTM A36), el cual tiene forma cilíndrica (en posición horizontal), con un espesor de 95 [mm] y las bridas del cuerpo son de acero al carbono (ASTM A36 Z25), las cuales están empernadas a las tapas; y éstas a su vez unidas al trunnion de alimentación y al trunnion de descarga. Los trunnion tienen un diámetro exterior de 4,855 mm y son de hierro dúctil (ASTM A536). El molino SAG contiene en su interior bolas de trituración de acero (medios de molienda), diseñado para contener un volumen máximo de bolas del 10% y manejar una carga total del 20% de su volumen.

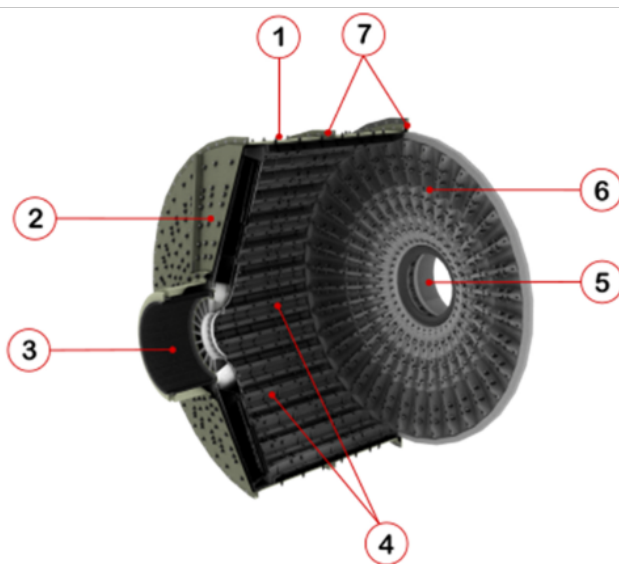


Figura B.4: Cuerpo del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.4: Componentes principales del cuerpo del molino SAG

| N° | Denominación del componente       |
|----|-----------------------------------|
| 1  | Cuerpo                            |
| 2  | Tapa del lado de alimentación     |
| 3  | Revestimientos interiores         |
| 4  | Trunnion del lado de alimentación |
| 5  | Trunnion del lado de descarga     |
| 6  | Tapa del lado de descarga         |
| 7  | Bridas del cuerpo                 |

El molino SAG presenta un cuerpo y tapas recubiertos con revestimientos interiores de acero cromo-molibdeno como revestimientos. Estos revestimientos juegan un papel crucial al forrar el

interior del molino, brindando protección tanto al propio molino como a los medios de molienda, como bolas de acero u otros elementos, contra el desgaste excesivo y posibles daños. Estos componentes tienen un impacto significativo en la eficiencia y el rendimiento del proceso de molienda en la industria minera. Más allá de su función primaria de protección para la carcasa, se están llevando a cabo investigaciones para optimizar el diseño de estos revestimientos con el fin de reducir los costos asociados a la molienda.

Elaborados con materiales resistentes al desgaste, como aleaciones de acero, caucho o compuestos cerámicos, y con una masa que va de las 2 a 3 [ton] por revestimiento, la elección del material se determina considerando factores como la abrasividad del mineral y las condiciones operativas específicas.

Los revestimientos exhiben una variedad de diseños y patrones adaptados a sus funciones en el molino. Algunos están diseñados para maximizar la elevación y caída de los medios de molienda, mientras que otros buscan minimizar el desgaste en las paredes del molino.

Debido al desgaste constante, llevar a cabo el reemplazo periódico de los revestimientos mediante un proceso de cambio planificado es esencial. Esta práctica resulta fundamental para preservar la eficiencia y la integridad del molino a lo largo del tiempo.

## **Cojinetes del molino SAG**

El molino SAG tiene dos conjuntos de cojinetes principales, uno fijo y otro móvil, que sirven de apoyo para el cuerpo. Cada conjunto de cojinetes consta de cuatro almohadillas de levantamiento ajustables, lubricadas hidrostáticamente, sobre las cuales gira el molino. Además, el cojinete fijo tiene dos rieles de empuje lubricados hidrostáticamente que localizan el molino axialmente y resisten las fuerzas de empuje.

Los cojinetes tienen transmisores de temperatura (RTD) instalados, para monitorear la temperatura.

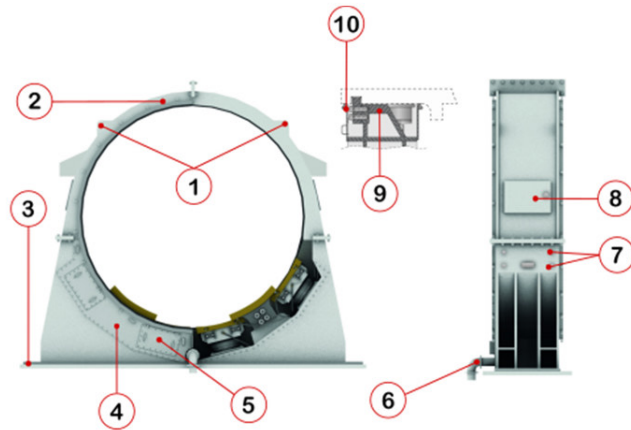


Figura B.5: Cojinete fijo del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.5: Componentes principales del cojinete fijo del molino SAG

| N° | Denominación del componente         | N° | Denominación del componente              |
|----|-------------------------------------|----|--|
| 1  | Oreja de elevación                  | 8  | Ingreso de aceite a los rieles de empuje |
| 2  | Cubierta                            | 9  | Tubería de retorno de aceite             |
| 3  | Base                                | 10 | Ingreso de aceite a las pastillas        |
| 4  | Tapa lateral                        | 11 | Puerta de inspección lateral             |
| 5  | Puerta de inspección de la pastilla | 12 | Sistema de sello                         |
| 6  | Pastilla                            | 13 | Soporte riel de empuje                   |
| 7  | Riel de empuje                      | 14 | Paquete de cuñas de empuje               |

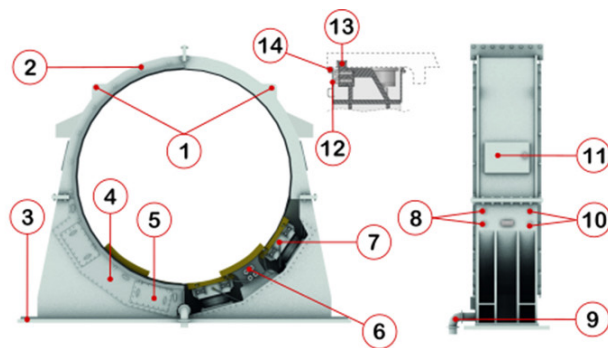


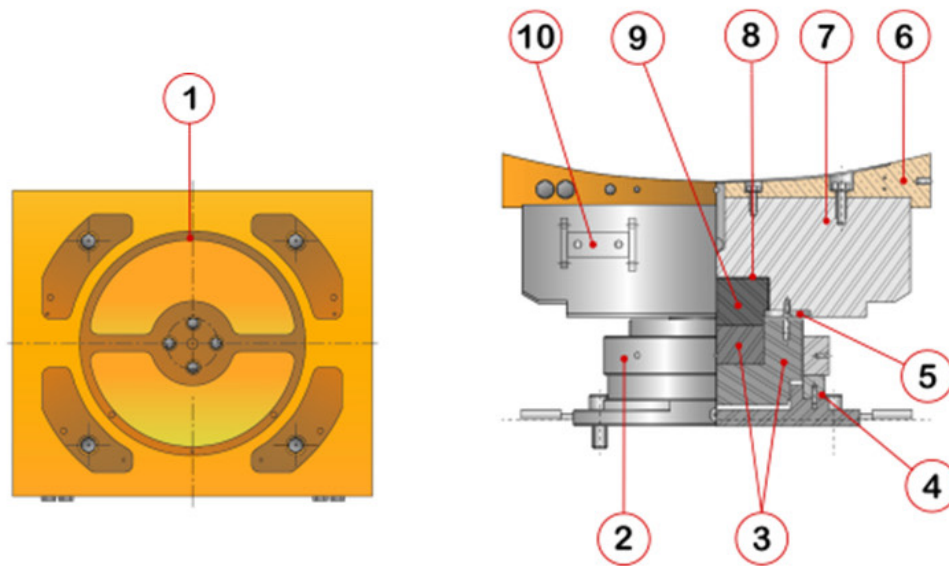
Figura B.6: Cojinete móvil del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.6: Componentes principales del cojinete móvil del molino SAG

| N° | Denominación del componente         | N° | Denominación del componente       |
|----|-------------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1  | Oreja de elevación                  | 6  | Tubería de retorno de aceite      |
| 2  | Cubierta                            | 7  | Ingreso de aceite a las pastillas |
| 3  | Base                                | 8  | Puerta de inspección lateral      |
| 4  | Tapa lateral                        | 9  | Pastilla                          |
| 5  | Puerta de inspección de la pastilla | 10 | Sistema de sello                  |

Las almohadillas de levantamiento son componentes de funcionamiento hidráulico que bordean la forma circular de los trunnion de alimentación y descarga del molino SAG. Para no ocasionar posibles daños a la superficie exterior de los trunnion, a través de un posible rozamiento de las almohadillas de levantamiento, estos bloques cuentan con pastillas de bronce que actúan como material “blando” y conforman las pistas sobre las cuales gira el cuerpo del molino SAG.

Sin embargo, el contacto entre metales de las almohadillas y los trunnion del molino no debería darse, por ello, se inyecta a alta presión aceite hidráulico a través de mangueras que están conectadas a cada almohadilla, formándose una película de aceite lubricante, sobre la cual puede girar libremente el cuerpo del molino SAG.



(a) Vista planta.

(b) Vista lateral almohadilla del molino SAG.

Figura B.7: Almohadilla de levantamiento del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.7: Componentes principales del cojinete móvil del molino SAG

| N° | Denominación del componente         | N° | Denominación del componente       |
|----|-------------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1  | Oreja de elevación                  | 6  | Tubería de retorno de aceite      |
| 2  | Cubierta                            | 7  | Ingreso de aceite a las pastillas |
| 3  | Base                                | 8  | Puerta de inspección lateral      |
| 4  | Tapa lateral                        | 9  | Pastilla                          |
| 5  | Puerta de inspección de la pastilla | 10 | Sistema de sello                  |

### Trommel del molino SAG

El trunnion del lado de descarga está unido al trommel por medio del adaptador del trommel, mediante bridas empernadas. El trommel se encarga de retener las bolas, especialmente aquellas que por excesivo trabajo han sufrido demasiado desgaste. De igual modo sucede con el mineral o rocas muy duros que no pueden ser molidos completamente, por tener una granulometría gruesa quedan retenidos en el trommel.

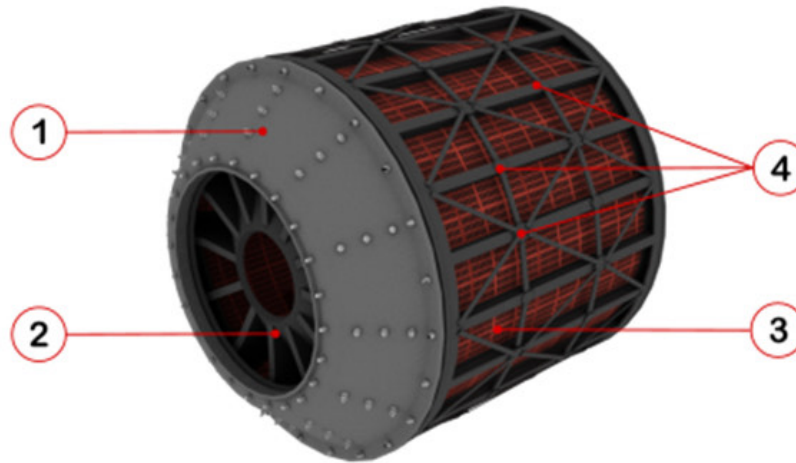


Figura B.8: Trommel del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.8: Componentes principales del trommel del molino SAG

| N° | Denominación del componente | N° | Denominación del componente |
|----|-----------------------------|----|-----------------------------|
| 1  | Adaptador del trommel       | 3  | Mallas de poliuretano       |
| 2  | Deflector del trommel       | 4  | Estructura del trommel      |

### Motor del molino SAG

El sistema motriz del molino SAG, está formado por un motor-anillo, denominado así porque el rotor se acopla directamente al cuerpo del molino y el estator toma la forma de anillo periférico.

El rotor es accionado por un ciclo-convertidor (de electrónica de potencia) que permite convertir la alimentación trifásica de frecuencia de la red (50 Hz) en una alimentación de baja frecuencia, para obtener la baja velocidad requerida por el molino SAG.

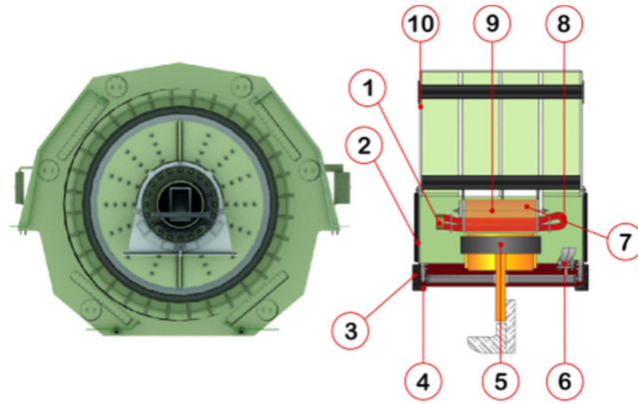


Figura B.9: Motor-anillo del molino SAG (Pelambres, 2023).

Tabla B.9: Componentes principales del motor-anillo del molino SAG

| N° | Denominación del componente | N° | Denominación del componente |
|----|-----------------------------|----|-----------------------------|
| 1  | Interconexión del bobinado  | 6  | Soporte de escobilla        |
| 2  | Cubierta del estator        | 7  | Paquete magnético           |
| 3  | Sistema de sellado          | 8  | Bobina del estator          |
| 4  | Soportes de sellado         | 9  | Cordón de vidrio            |
| 5  | Polos del motor             | 10 | Cubierta del motor          |

### Chute de alimentación

El molino SAG, cuenta con un chute de alimentación acoplado y fijado junto al trunnion del lado de alimentación. Mediante estos chutes, la correa de alimentación, descarga el mineral que cae por gravedad y puede ser alimentado al interior del cuerpo del molino SAG.

El chute de alimentación del molino SAG, está diseñado a modo de cajón de recepción, con revestimientos interiores que protegen las paredes del mineral.

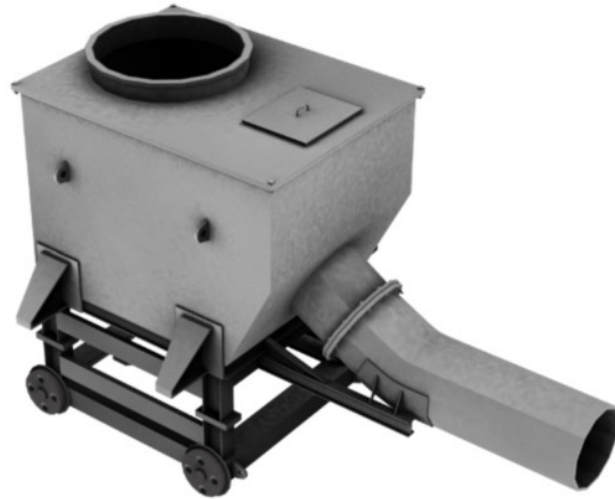
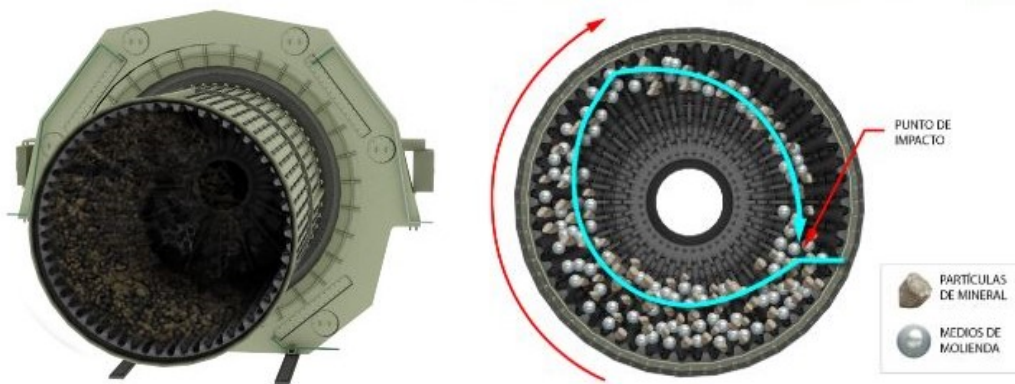


Figura B.10: Chute de alimentación del molino SAG (Pelambres, 2023).

## B.0.2 Funcionamiento

El molino SAG, cumple la función de reducir aún más el tamaño del mineral proveniente del proceso de Chancado Primario, el cual fue previamente reducido hasta un tamaño de producto de 80% más pequeño que  $95,000 \mu m$  (micras). En el molino SAG el mineral es reducido a un tamaño mucho menor (T80) entre  $3,000$  y  $4,000 \mu m$  (micras), conveniente para alimentar al proceso de flotación.



(a) Carga interior molino SAG.

(b) Funcionamiento del molino SAG.

Figura B.11: Interior de un molino SAG (Pelambres, 2023).

La conminución del mineral hasta reducirlo al tamaño deseado, ocurre gracias al movimiento rotatorio (horizontal) realizado por el cuerpo cilíndrico del molino SAG, haciendo caer violentamente su contenido para provocar una acción de rotura.

Al girar el molino SAG, los “elevadores” de los revestimientos interiores, levantan la carga hasta elevarla aproximadamente dos tercios de la distancia del arco de rotación del cuerpo antes de caer al pie de la carga. La trituración dentro del molino SAG es una combinación de rotura del mineral por medio de la acción de caída desordenada, el pellizco o pinzado del mineral entre las bolas, y la abrasión de las partículas al frotarse entre sí.

La velocidad de giro del molino SAG genera gran parte de la acción de levantamiento del mineral y de las bolas. Para lograr el giro a la velocidad deseada del molino SAG, éste es accionado por un motor de velocidad variable, el cual opera en el intervalo del 74-80% de su velocidad crítica.

La velocidad crítica es aquella a la cual la fuerza centrífuga generada dentro del molino SAG aprisiona todo el mineral contra las paredes del cuerpo y evita la acción de catarata requerida.

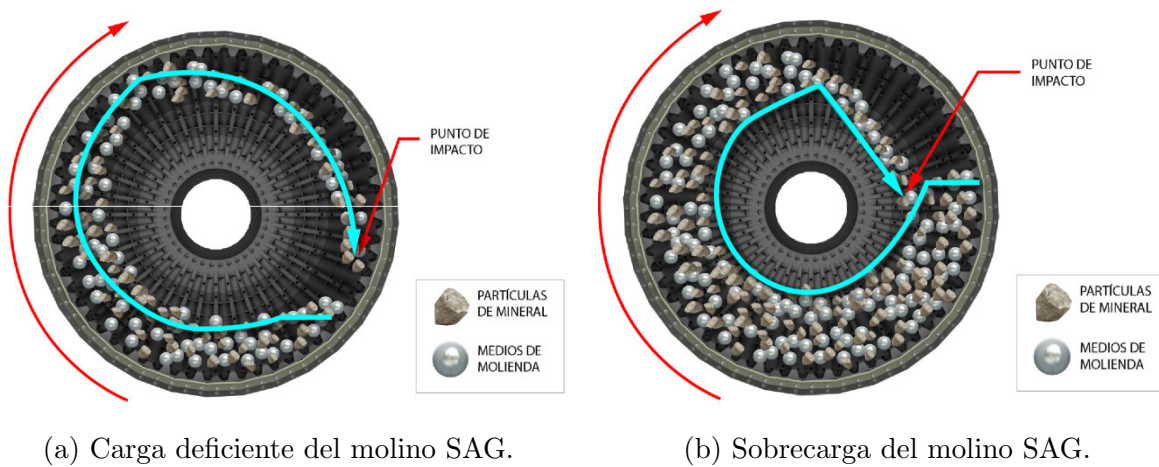


Figura B.12: Deficiencias del molino SAG (Pelambres, 2023).

El molino SAG tiene un extremo falso en el cabezal de descarga, formado por sectores metálicos pesados. La cavidad entre este extremo y el cabezal del molino SAG es cubierta con revestimientos de acero de cromo-molibdeno. Los lodos fluyen a través de las rejillas en los sectores y al interior de la cavidad donde los “elevadores” de pulpa (en efecto, paletas pesadas) levantan los lodos a medida que gira el molino. A medida que los lodos llegan a la parte superior, se descargan fuera del trunnion.

# Anexo C

## Estado del Arte

### C.1 Metodología Lean en la Industria Minera

La filosofía Lean, derivada del Sistema de Producción de Toyota (TPS), ha evolucionado desde su introducción en la industria manufacturera japonesa a mediados del siglo XX. A lo largo de las décadas, ha trascendido más allá de la producción y se ha aplicado con éxito en una variedad de industrias, desde la manufactura hasta los servicios y la gestión de proyectos

De acuerdo con el escenario actual y los próximos años, surge la necesidad de realizar cambios en la forma en que se están llevando a cabo los proyectos mineros, con el fin de responder a las necesidades del futuro. Para lograrlo, es posible plantear varias hipótesis sobre cómo abordar este problema, que incluyen:

- Mejorar la eficiencia de la maquinaria utilizada a través de la innovación tecnológica. Al introducir nuevas tecnologías en los equipos y maquinarias, se puede mejorar su desempeño, reducir costos y aumentar la productividad. De esta manera, se logra un proceso productivo más eficiente y rentable.
- Utilización de nuevos materiales en la producción. Al introducir materiales más económicos y eficientes en el proceso productivo, se puede reducir el costo de producción y aumentar la rentabilidad del negocio. De esta forma, se puede mantener la competitividad en el mercado y mejorar la posición financiera de la empresa.
- Contar con una mano de obra más calificada y eficiente, pues puede ser clave para lograr resultados óptimos en el proceso productivo. Al contar con trabajadores altamente capacitados, se puede mejorar la calidad del trabajo y aumentar la eficiencia en la operación de los equipos y maquinarias. Esto se traduce en una producción de mayor calidad y una mayor rentabilidad para la empresa. Además, los trabajadores bien capacitados también pueden aportar ideas y soluciones innovadoras para mejorar el proceso productivo.

- Mejorarlos sistemas de gestión y producción con tal de lograr un proceso productivo más eficiente y sostenible. Al implementar mejores sistemas de gestión, se pueden optimizar los recursos disponibles y hacer un uso más eficiente de los mismos. De esta manera, se puede aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental de la producción. Además, también se puede lograr una mayor rentabilidad y mejorar la competitividad de la empresa. Al implementar mejores sistemas de producción, se pueden hacer más trabajos en menos tiempo, reducir los costos y aumentar la calidad del producto o servicio ofrecido.

De acuerdo a los puntos explicados anteriormente, es que el último punto toma mayor importancia en la filosofía Lean, donde se busca mejorar los sistemas de gestión y producción con tal de hacer más trabajos pero con menos utilización de recursos. Este sistema de producción posee ciertos principios que buscan una forma de hacer más con menos; menos esfuerzo humano, menos equipos, menos tiempo, menos espacio. Y así, entregar al cliente exactamente lo que quiere en el momento que lo necesita (Jones and Womack, 2003).

## C.2 Aplicabilidad de la Filosofía Lean en Minería

Entre las conclusiones más destacadas de los estudios que abordan la aplicabilidad y viabilidad de implementar la filosofía Lean en la industria minera, se resalta:

- El poder de Lean radica en unir a empleados operativos y de mantenimiento en un propósito común. Empodera a las personas para resolver problemas a nivel laboral y promueve un fuerte sentido de propiedad. Estos conceptos son comunes a todos los lugares de trabajo y no están limitados por restricciones que puedan imponer la geografía, el aislamiento, los tipos de trabajo u otros factores. Por lo tanto, los valores fundamentales de Lean son igualmente aplicables en un contexto minero como en uno de manufactura (Dunstan et al., 2006).
- El principio Lean tiene el potencial de aplicarse con éxito a la industria minera. Sin embargo, se deben tener en cuenta muchos problemas y enfrentar desafíos de manera inteligente. Aplicar el principio Lean no es simplemente utilizar herramientas, sino más bien cambiar la cultura. Es un proceso lento y requiere una dedicación total hacia la modificación de la cultura. Un enfoque consiste en aplicar el concepto de Eficiencia Global de la Producción para eliminar desperdicios y aumentar la confiabilidad operativa, la calidad de producción y el rendimiento a través de la participación de todo el personal (Wijaya et al., 2009)
- En dos compañías mineras en las que se aplicaron metodologías Lean con la finalidad de transformar los procesos, identificando las actividades que generan valor y aquellas que no, se lograron mejoras significativas en la productividad. En la primera compañía se logró una

reducción de costos de 5,23 a 3,51 [USD] dentro del bloque minero, equivalente al 32,9%, y un aumento en la productividad del 43,6%. Mientras tanto, en la segunda empresa, la mejora principal estuvo relacionada con la Calidad de Vida del Trabajador (CVT) al reducir la concentración de polvo dentro de las galerías de 60,3 [mg/m<sup>3</sup>] a 3,2 [mg/m<sup>3</sup>], disminuyendo simultáneamente el desperdicio causado por la espera del 50,87% al 32,09% del tiempo de espera. Como consecuencia de las acciones tomadas, se produjo un aumento del 16,63% en el tiempo de valor agregado del proceso (Klippel et al., 2008).

- La producción lean parece ser altamente aplicable a la minería, al igual que a muchos otros sistemas de producción. La definición de valor y el análisis del flujo de valor, el trabajo estandarizado, la calidad en la fuente, el mantenimiento productivo total, la fuerza laboral flexible, las técnicas de reducción de tiempos de preparación y los enfoques de mejora continua podrían implementarse directamente en la industria minera. Las técnicas diseñadas para el flujo no se transfieren de la fabricación a la minería, pero los beneficios del flujo, no obstante, deberían ser altamente valiosos (Yingling et al., 2000)

### C.3 Estandarización de Procesos

La estandarización es la base fundamental de los principios lean; requiere un trabajo riguroso y es aplicable a todas las demás herramientas lean. En la minería, la estandarización es una tarea difícil debido a que el trabajo en la minería depende en gran medida de factores incontrolables, como el movimiento de las rocas. La variación en el trabajo de un momento a otro es alta, ya que diferentes condiciones requieren diferentes formas de trabajo. Sin embargo, en cierta medida, la estandarización se puede llevar a cabo en la minería. Un ejemplo es el anclaje de rocas. Naturalmente, la cantidad de pernos y la ubicación de la instalación dependen en gran medida de las condiciones de la roca. Las rocas blandas requieren más pernos que las rocas duras y también dependen del movimiento de la roca, que es bastante difícil de predecir. Colocar más pernos de los necesarios introduce trabajo excesivo, mientras que poner menos pernos puede generar la posibilidad de retrabajo. La estandarización se puede lograr al tomar la peor condición de la roca como estándar y determinar el número y la ubicación de los pernos en función de esta condición. Por supuesto, esto generará costos adicionales debido a materiales adicionales, horas laborales, horas de máquina y proceso. Sin embargo, reducirá la variación en el tiempo del proceso, permitiendo establecer un tiempo estándar necesario para equilibrar la línea distribuyendo la carga de trabajo. También reduce la variación en la forma en que se realiza el trabajo y, mediante mejoras, se puede establecer un método de trabajo estándar (Wijaya et al., 2009).

Las prácticas de trabajo estandarizadas reducen la variabilidad en la producción y permiten que las diversas actividades y secciones de una organización interactúen de manera más fluida. La

estandarización es la base que permite a las organizaciones cambiar y mejorar sus procesos. En un entorno donde los métodos y planes utilizados para realizar el trabajo cambian constantemente de un trabajador a otro, o de un día o turno a otro, niveles elevados de variación son una certeza. Esta variación, en primer lugar, hace imposible planificar adecuadamente y, en segundo lugar, dificulta la identificación de las causas fundamentales de los problemas. Además, si se intenta mejorar un método de trabajo deficiente, será difícil implementar cambios y vincularlos con mejoras en los resultados. Una vez que se establecen estándares flexibles, se puede implementar una resolución efectiva de problemas (Hattingh and Keys, 2010).

El término "trabajo estandarizado" ha estado presente en la manufactura desde los días de Taylor, pero la definición lean difiere de la tradicional. En la producción lean, el trabajo estandarizado comienza con una declaración de la mejor práctica para completar un trabajo. Expresa el estado actual del aprendizaje sobre el proceso y prescribe el procedimiento para realizar la operación con el mínimo esfuerzo humano, máxima seguridad, cero defectos, mínimo tiempo/mano de obra y mínimos desechos auxiliares como chatarra y pérdidas de energía. Sirve como base para la formación, y se espera que todos los trabajadores sigan los procedimientos prescritos de manera consciente. Es una práctica común publicar una descripción de los procedimientos estándar en el lugar de trabajo, con un esfuerzo especial para comunicar movimientos clave y verificaciones de procesos. En la producción lean, los procedimientos de trabajo estandarizados no provienen de la dirección. En cambio, son establecidos y, en cierta medida, "propiedad" de los propios trabajadores. Se pretende que sean producto del intelecto colectivo de todos los miembros del equipo que trabajan en la operación en cuestión. Se alienta a los trabajadores y se les proporciona la formación necesaria para analizar y mejorar constantemente los procedimientos estándar. Se buscan sugerencias útiles de manera formal, se recompensan y se implementan de inmediato; y los procedimientos estándar se actualizan a medida que el aprendizaje evoluciona a un nivel más alto. Es importante destacar que el trabajo estandarizado reduce la variabilidad de los tiempos de procesamiento en comparación con lo que existe en su ausencia. Esto elimina los numerosos efectos negativos que la variabilidad inevitablemente tiene en el rendimiento de los sistemas de flujo continuo (Yingling et al., 2000)

A la luz del uso de procedimientos estandarizados, a menudo se escucha la afirmación de que una "mina no es una fábrica", refiriéndose a los numerosos factores presumiblemente fuera del control de la gestión. Creemos que el control del entorno de producción es ciertamente más difícil en la minería y que la mayoría de los procedimientos estandarizados deberían tener una mayor flexibilidad que las declaraciones de trabajo estandarizadas en una fábrica. Sin embargo, esta dificultad no es una excusa para la ausencia de tales procedimientos. Sin ellos, el trabajo puede degradarse rápidamente a algo improvisado, con poco o ningún potencial para el aprendizaje y la mejora. La transferencia de habilidades entre operadores de máquinas es mucho más difícil de lo

necesario. Además, su ausencia equivale a lavarse las manos de la responsabilidad de controlar el entorno laboral cuando ese control es, con esfuerzo, cuidado, información y creatividad, posible (Yingling et al., 2000)

La recompensa de todos los elementos fundamentales de Lean es la liberación progresiva del tiempo de las personas. Los entornos de trabajo frustrantes y estresantes se convierten en ambientes agradables donde la principal preocupación es encontrar nuevas formas de mejorar las cosas. Se crean oportunidades para que las personas aprendan y desarrollen habilidades (Dunstan et al., 2006).

## C.4 Benchmark

### C.4.1 BHP

BHP actualmente cuenta con un "sistema operativo" basado en la mejora continua en todos sus procesos. Este sistema se denomina "BOS" y está basado en Lean en todos sus procesos. Este le permite a los equipos de primera línea resolver problemas y plantear soluciones para agilizar sus procesos. También aporta en reducir los desperdicios, la sobrecarga y la variación, resultando en productos más eficaces y consistentes. Los principios fundamentales de BOS son "servir a nuestros clientes", "capacitar a nuestra gente" y "aspirar a la perfección operativa" (BHP, 2023).

Este sistema operativo se basa en dos teorías de la gestión de procesos, Lean y Agile. Cada una de estas tiene su definición propia pero ambas comparten el enfocarse en la potenciación organizativa, la colaboración del cliente, el aprendizaje rápido y el mejoramiento continuo. Si bien, este sistema mencionado tiene inserto elementos de la gestión Agile, la mayoría de las herramientas y prácticas definidas por la empresa en la gestión de operaciones está basado en la metodología Lean.

En el año 2022, Francesco Cassinelli Gorigoitia completó su tesis de maestría en gestión y dirección de empresas, focalizando su investigación en la estandarización del mantenimiento de camiones de extracción de alto tonelaje. La metodología empleada se fundamentó en el Trabajo Estandarizado de 5 pasos, una técnica ampliamente utilizada en la industria de la Gran Minería, que abarca desde "Capturar la Actividad" hasta "Iterar (para seguir el ciclo de mejora continua)".

Este estudio se enfoca en analizar una flota de camiones de extracción de alto tonelaje considerada "promedio en la industria", tanto en términos de cantidad como de rendimiento. La metodología se aplica específicamente a cuatro actividades rutinarias de mantenimiento. A través de registros recopilados en una de las faenas de la gran minería del cobre en la región, se implementa el enfoque del trabajo estandarizado. Los resultados obtenidos se someten a un análisis detallado, y se proponen cursos de acción fundamentados en evaluaciones financieras y de riesgo.

La aplicación de esta metodología en el área previamente descrita, genera una liberación del 6,37% de horas hombre de mantenedores. Aquí se proponen cursos de acción relacionados con reducciones de OPEX de la compañía (a través de una reducción del costo por hora de la flota de camiones entre 1,4 y 2,3%) y por otro lado aprovechando el recurso de personas disponible habilitándolos con los entrenamientos necesarios para asumir el mantenimiento de una flota autónoma, de la cual ya contamos o estamos ad portas de recibir en la industria de la gran minería (Cassinelli, 2022).

## C.4.2 Teck

En 2018, Mario Andrés Ortiz Bahamondez realizó una investigación para obtener el grado de magister en gestión y dirección de empresas, enfocándose en el mejoramiento continuo como clave para alcanzar la excelencia operacional. Su estudio se centró en Quebrada Blanca, una operación minera de cobre de Teck, motivado por los desafíos que enfrentó la mina en 2016. La investigación recomendó la implementación de un modelo operativo basado en las herramientas de la Metodología Lean y Six-Sigma.

El estudio se enfoca en el desarrollo de un modelo de mejora continua mediante la revisión de las actividades clave realizadas en Quebrada Blanca durante 2016. Las conclusiones abordan factores externos e internos que afectaron la operación, subrayando la importancia de establecer un propósito y visión claros, y maximizar las oportunidades de mejora. Se sugiere la implementación de metodologías como Six-Sigma o Lean-Production, destacando el papel crucial de herramientas como el RAR y la gestión del cambio. La comunicación efectiva y la integración del proceso en la planificación estratégica se enfatizan como fundamentales para el éxito y la creación de una cultura organizacional innovadora. La recomendación central es incorporar la mejora continua en el ciclo de planificación, promoviendo una cultura organizacional dinámica y orientada a la innovación.

Para Teck la Excelencia Operacional es un valor central, y el Mejoramiento Continuo es el medio para alcanzarla. Desde el corporativo se emite una guía con los principios del Mejoramiento Continuo, sin embargo, ésta adolece de la falta implementación a través de una metodología específica dejando abierta la posibilidad a cada operación de liderar este proceso como mejor le parezca, de la forma que les sea más productiva y efectiva (Ortiz, 2018).

Durante el año 2016 QB alcanzó un costo de operación bajo lo presupuestado y ahorros sobre los planificados, superando toda expectativa para esa operación dada la coyuntura económica de la industria. Sin embargo, el mayor éxito de este proceso fue instalar una nueva forma de realizar el mejoramiento continuo, sosteniendo los resultados en el tiempo, celebrando los éxitos y destacando la contribución del trabajo en equipo, disminuyendo la variabilidad en los procesos y teniendo un fuerte proceso de gestión del cambio al interior de la organización en QB (Ortiz, 2018).

### C.4.3 Codelco

La implementación de la Excelencia Operacional en Codelco se lleva a cabo mediante la metodología C+, la cual integra enfoques como Lean Management, método Cascada o Clásico, así como métodos Ágiles, tales como Scrum y Kanban, con el objetivo de perfeccionar el rendimiento de los equipos en las diversas direcciones de excelencia operacional. Esta metodología C+ tiene como finalidad principal fomentar una transformación cultural en Codelco, promoviendo el empoderamiento de las personas y diseñando palancas de gestión, con el propósito de elevar el desempeño del negocio en cada una de sus divisiones mineras.

La metodología C+ se fundamenta en tres dimensiones fundamentales (Codelco, 2019):

- **Sistemas Operativos:** Descubrir la óptima forma de llevar a cabo las fases del negocio, con el propósito de reducir la variabilidad de los procesos, estandarizar prácticas y actividades, capturando así el máximo valor y fomentando la colaboración mediante la transferencia de buenas prácticas.
- **Sistema de Gestión:** Introducir prácticas y herramientas que eliminen "desperdicios" en sus actividades diarias, identifiquen las causas fundamentales de los problemas operativos y realicen un seguimiento efectivo de los indicadores clave del negocio, siempre con el objetivo compartido en mente.
- **Mentalidades y Comportamientos:** Cultivar una cultura fundamentada en los principios C+, promoviendo la inteligencia colectiva y fortaleciendo a los equipos de trabajo..

En particular, son cuatro las dimensiones que, con sus herramientas y prácticas, han contribuido a mantener la distintiva y abarcadora identidad del C+ en todos los centros de trabajo de acuerdo a la figura C.1:

- **Objetivo común:** Conectar la estrategia con objetivos y propósitos significativos, apoyándose en dos prácticas clave: el proceso Full Potential y la aspiración.
- **Mejora continua:** Buscar descubrir formas más efectivas de trabajar mediante la resolución de problemas y la gestión del PIT (Plan de Implementación Táctico).
- **Procesos eficientes:** Garantizar una entrega eficiente de lo que el cliente requiere, utilizando estándares operacionales.
- **Desarrollo de personas:** Fomentar el crecimiento individual para que las personas lideren y contribuyan al máximo de su potencial. Se logra mediante confirmaciones de rol, confirmaciones de proceso, desarrollo de rol y talento de valor.

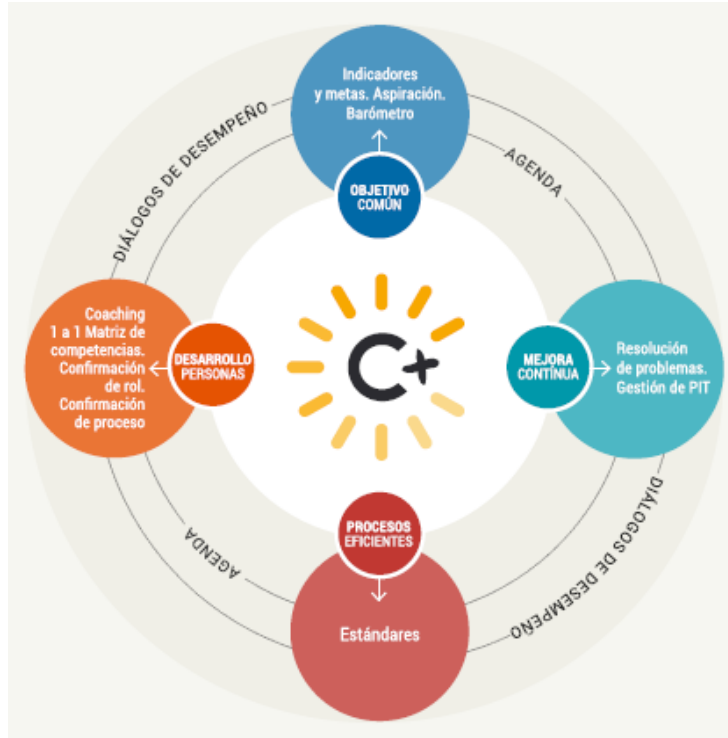


Figura C.1: Excelencia operacional C+ (Codelco, 2019).

En 2022, Matías Nicolás Álvarez Ordenes completó una tesis para obtener el título de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas en la Universidad de Chile. Su trabajo detalla la implementación exitosa del Sistema de Gestión de Excelencia Operacional de Codelco, conocido como C+, durante la fase inicial del Proyecto Planta de Tratamiento de Escorias de Convertidor Teniente. A pesar de los desafíos, la implementación logró resultados destacados, como cero accidentes, un tiempo de ramp up de seis meses y mejoras significativas en la eficiencia operativa. Se resalta el aumento del OEE en un 50,7%, la reducción del mantenimiento no planificado en un 95,6%, y la disminución de las detenciones internas en un 80%. El enfoque del trabajo incluyó disciplinas de excelencia operacional, resaltando la transformación cultural, el trabajo en equipo y la participación activa de los trabajadores. Además, se destaca la importancia del respaldo de la alta gerencia y la adaptación continua como factores clave para el éxito en la implementación de modelos de excelencia operacional. (Álvarez, 2022).

# Anexo D

## Marco Teórico

### D.1 Modelo de gestión de activos y mantenimiento

Corresponde a un enfoque sistemático utilizado por las organizaciones para administrar sus activos físicos de manera eficiente a lo largo de su ciclo de vida. Este modelo busca representar lo más fielmente a lo que ocurre en la realidad, permitiendo niveles de excelencia en el mantenimiento. Dentro del modelo, se pueden distinguir ocho etapas, como se indica en la figura D.1:

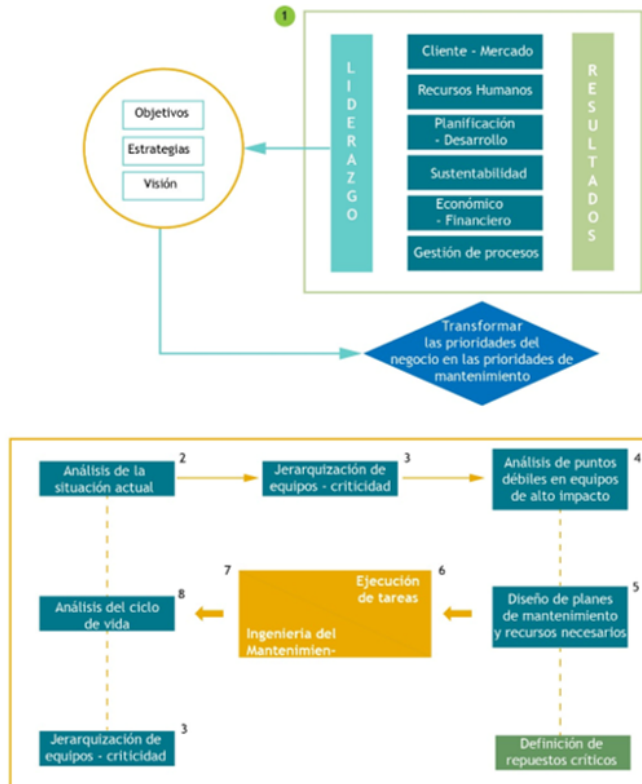


Figura D.1: Modelo de Gestión de Activos y Mantenimiento (elaboración propia).

### **D.1.1 Etapa 1: Establecer los propósitos de la empresa**

Se define una misión, visión y valores claros para así establecer una estrategia para la gestión del mantenimiento y construir un plan de negocio. Esto incluye jerarquización y alineamiento de los objetivos y metas de la organización en su conjunto.

### **D.1.2 Etapa 2: Análisis de la situación actual**

Corresponde a realizar una evaluación o diagnóstico de la situación actual en la gestión del mantenimiento.

Aquí se debe considerar todos aquellos aspectos relacionados con el mantenimiento de equipos de los cuales se pueda disponer de información; planificación, programación y ejecución de tareas de mantenimiento, fallas históricas, indicadores de tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR), recursos financieros asignados al mantenimiento, impacto económico o en la producción (consecuencia de falla de equipo) por una parada no programada del sistema o subsistema. En esta parte es importante revisar la integración de herramientas y sistemas informáticos (Softwares de mantenimiento, softwares de gestión de mantenimiento).

Para el correcto desempeño de la gestión del mantenimiento, es que se deben establecer previamente los objetivos (metas) que se persiguen, de esta manera fijar una estrategia orientada a estos objetivos y determinando responsabilidades del personal a nivel operacional y gerencial. Para el diseño de la estrategia se recomienda:

- Establecer los objetivos del mantenimiento en base a los objetivos de la empresa.
- Comparar el rendimiento real de producción con las capacidades nominales.
- Determinar los indicadores claves para la evaluación del rendimiento de producción
- Describir la situación actual de la ejecución del mantenimiento.

Siguiendo los pasos mencionados previamente, se establece un plan de mantenimiento genérico que se concentra en los activos o equipos críticos en la etapa de producción (etapa 3), a continuación, se asignan los recursos requeridos para llevar a cabo dicho plan. Este proceso da lugar a la creación de un programa minucioso que incorpora las tareas y los recursos correspondientes.

### **D.1.3 Etapa 3: Jerarquización de equipos**

Se jerarquizan los equipos de la línea productiva de acuerdo a su nivel de criticidad, es decir, a través de su impacto (legal, medio ambiental, productivo, salud, etc.) por la frecuencia (número de fallas en un tiempo determinado).

Para poder jerarquizar los equipos, se pueden abordar modelos o métodos cuantitativos, cualitativos-cuantitativos, o cualitativos. Por lo general, para estos tipos de análisis se ocupa el RCM, donde se realizan análisis como lo son el modo de falla y FMECA. En caso de no contar con datos históricos o antecedentes del equipo, se puede recurrir a una metodología cualitativa.

#### **D.1.4 Etapa 4: Análisis de punto débiles de equipos de alto impacto**

Una vez completada la jerarquización de los activos físicos de la planta según su criticidad (equipos críticos, semicríticos y no críticos), el siguiente paso implica llevar a cabo una inspección técnico-visual detallada de todos los equipos clasificados como críticos para la planta. Los equipos semicríticos serán objeto de una inspección más superficial, con menos nivel de detalle, mientras que para los activos no críticos no será estrictamente necesario asignar recursos de inspección, dado que su impacto en el sistema en caso de falla no es significativo. Por lo tanto, se les permitirá operar hasta que ocurra una falla.

La inspección previa de los equipos críticos y semicríticos permite obtener información sobre el estado actual de operación, deficiencias en el funcionamiento, entorno operativo y cualquier otra información relevante para determinar las necesidades específicas de mantenimiento.

En esta etapa, al igual que en las anteriores, es crucial tener en cuenta la información proporcionada por cada uno de los operarios asignados al control y uso de los equipos críticos y semicríticos.

En el caso de los equipos críticos, antes de llevar a cabo las acciones constituyentes de los planes de mantenimiento, se recomienda analizar posibles fallos repetitivos y crónicos, basándose en el historial de los equipos. Si la frecuencia de aparición de estos fallos se considera excesiva, es recomendable identificar las causas raíces. En el mejor escenario, se logrará eliminar el modo de falla. Si esto no es posible, por ejemplo, debido a que el costo de eliminación supera en gran medida al costo por falla del equipo, se podría optar por controlar dicho modo de falla. La eliminación o control de los modos de fallo contribuye significativamente al retorno inicial de la inversión en nuestro programa de gestión de mantenimiento. Además, facilita las fases posteriores de análisis y diseño de planes de mantenimiento, que requieren una inversión sustancial de tiempo y recursos.

#### **D.1.5 Etapa 5: Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios**

Para la etapa del diseño del plan de mantenimiento, deben considerarse dos partes fundamentales:

En primer lugar, la recopilación de información de los equipos a analizar. Luego se determinan las distintas funciones del equipo analizado de acuerdo a su contexto operacional. De manera posterior, se determinan para cada función las posibles fallas (incluyendo un AMFE y ACR). Una

vez recopilada la información, se debe realizar una evaluación de las consecuencias de la falla en el ámbito operacional, seguridad, medio ambiente y costo.

En segundo lugar, se definen las tareas preventivas que se llevarán a cabo en los equipos, siempre y cuando estas sean viables tanto desde un punto de vista económico como técnico. Además, se establece la periodicidad con la que se deben ejecutar estas tareas, se asignan los responsables correspondientes y se determinan los recursos necesarios. Por último, se evalúa el riesgo resultante de implementar el plan preventivo de mantenimiento.

### **D.1.6 Etapa 6: Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos**

Corresponde al ciclo corto del mantenimiento o ciclo habitual. En esta etapa se debe realizar una programación detallada de todas las actividades de mantenimiento, considerando para ello:

- **Programación detallada:** Se integran todas las tareas de mantenimiento teniendo en cuenta las demandas de producción y su costo de oportunidad. La programación se lleva a cabo con el objetivo de optimizar los recursos disponibles y reducir al mínimo cualquier influencia negativa en la producción, tanto a corto, como a mediano y largo plazo.
- **Ejecución del mantenimiento:** Realización de las actividades de mantenimiento y las acciones específicas en los equipos, en pleno cumplimiento de los procedimientos y estándares previamente establecidos.
- **Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento:** Se lleva a cabo la evaluación y el control de las desviaciones para asegurarse de que la ejecución del mantenimiento se haya realizado de acuerdo con los objetivos, empleando indicadores clave del proceso.

### **D.1.7 Etapa 7: Ingeniería de mantenimiento**

Esta fase corresponde al ciclo largo de mantenimiento, donde se busca la mejora y la proyección del mantenimiento. Se basa en la información recopilada y analizada en la etapa anterior, y se incorporan estrategias de mejora continua.

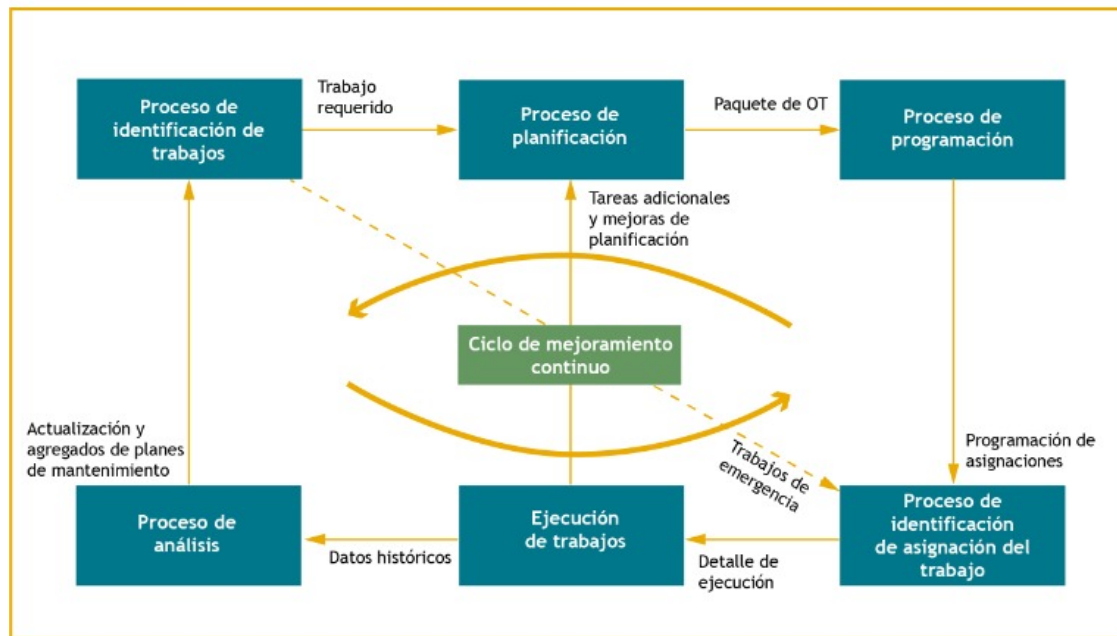


Figura D.2: Ciclo de trabajo del mantenimiento (elaboración propia).

### D.1.8 Etapa 8: Análisis del ciclo de vida del activo

Se reconoce la relevancia del ciclo de vida de los activos en relación con su impacto económico. Es esencial tener en cuenta una serie de factores apropiados, incluyendo costos, disponibilidad de repuestos, formación de personal de mantenimiento y operadores, aspectos relacionados con la operación y el mantenimiento, entre otros, para evaluar el logro de los objetivos establecidos. El objetivo principal es maximizar el retorno sobre los activos (ROA), minimizar el costo total del ciclo de vida (LCC) y alcanzar una tasa de retorno sobre la inversión (TIR) adecuada.

## D.2 Confiabilidad operacional

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un elemento funcione sin fallar durante un período de tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas (Arata and Furnaletto, 2005).

La confiabilidad implica la capacidad de prevenir fallos, interrupciones no planificadas y reducciones en el rendimiento que puedan impactar la operación productiva y la eficiencia de un proceso. Estos fallos pueden surgir debido a causas atribuibles o aleatorias. Los fallos debidos a causas atribuibles pueden ser investigados y resueltos mediante el control de los factores que los originan. Por otro lado, los fallos aleatorios son intrínsecos al componente, equipo o sistema, y requieren un análisis más complejo.

Para lograr la confiabilidad operacional, se utilizan estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, así como la gestión de activos y la implementación de prácticas de ingeniería que minimizan los riesgos de fallas y maximizan el tiempo de funcionamiento efectivo de los equipos industriales.

Según la definición anterior, un equipo puede encontrarse en uno de dos estados en cualquier momento de su vida: funcionando adecuadamente o experimentando una falla, siempre bajo condiciones externas conocidas. Esto implica que la confiabilidad dependerá en última instancia del tiempo.

La confiabilidad se puede expresar como:

$$C(t) = 1 - F(t) \tag{D.1}$$

Donde  $F(t)$  es la probabilidad de que se produzca algún fallo y  $1 - F(t)$  es la probabilidad de que no ocurra un fallo.

La confiabilidad puede calcularse utilizando la función de confiabilidad exponencial, que se basa en el supuesto de que las fallas se distribuyen aleatoriamente a lo largo del tiempo. La fórmula es la siguiente:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t > 0 \text{ y } \lambda > 0 \tag{D.2}$$

Donde  $\lambda$  es la tasa de fallas para la distribución exponencial, cuyo valor es constante e igual a:

$$\lambda = \frac{C_f}{T_0} = \frac{1}{MTTF} \tag{D.3}$$

De esta manera, la confiabilidad según la ley exponencial, queda expresada de la siguiente forma:

$$C(t) = 1 - F(t)dt = e^{-\lambda t} = e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)} \tag{D.4}$$

Cabe destacar que el modelo presentado para calcular la confiabilidad en un equipo por lo general varía según la etapa del ciclo de vida en que se encuentre el equipo. Este ciclo de vida de un equipo suele dividirse en 3 zonas, de acuerdo a la siguiente figura mostrada:

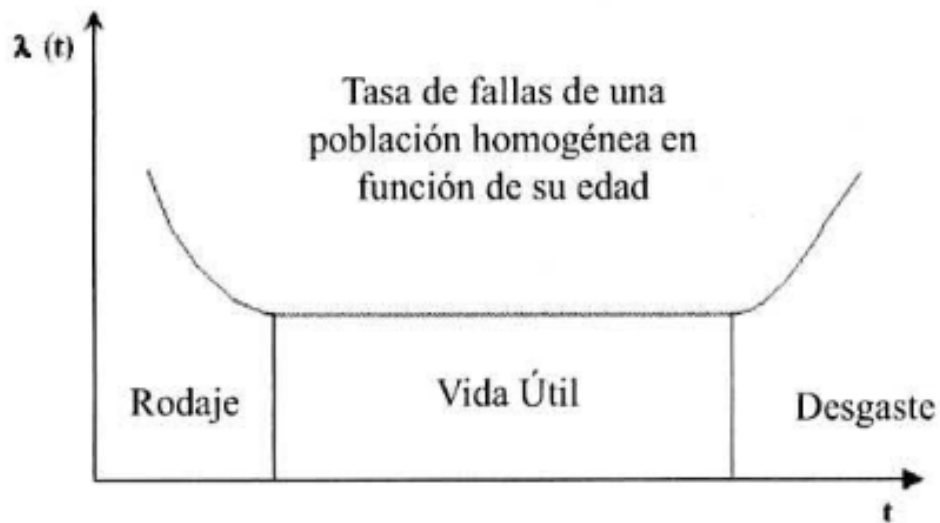


Figura D.3: Ciclo de vida de un equipo (Arata, 2009).

A medida que la población envejece, las unidades acumulan daños por la edad y comienzan a mostrar señales de desgaste. Los fallos tienden a ocurrir más rápidamente a medida que aumenta el uso. En este período de desgaste, los fallos pueden ser propiciados por acciones de tipo químico, térmico, eléctrico o mecánico que causan daño al producto con el tiempo.

La confiabilidad operacional depende de 4 pilares fundamentales, como se expresa en la siguiente figura:

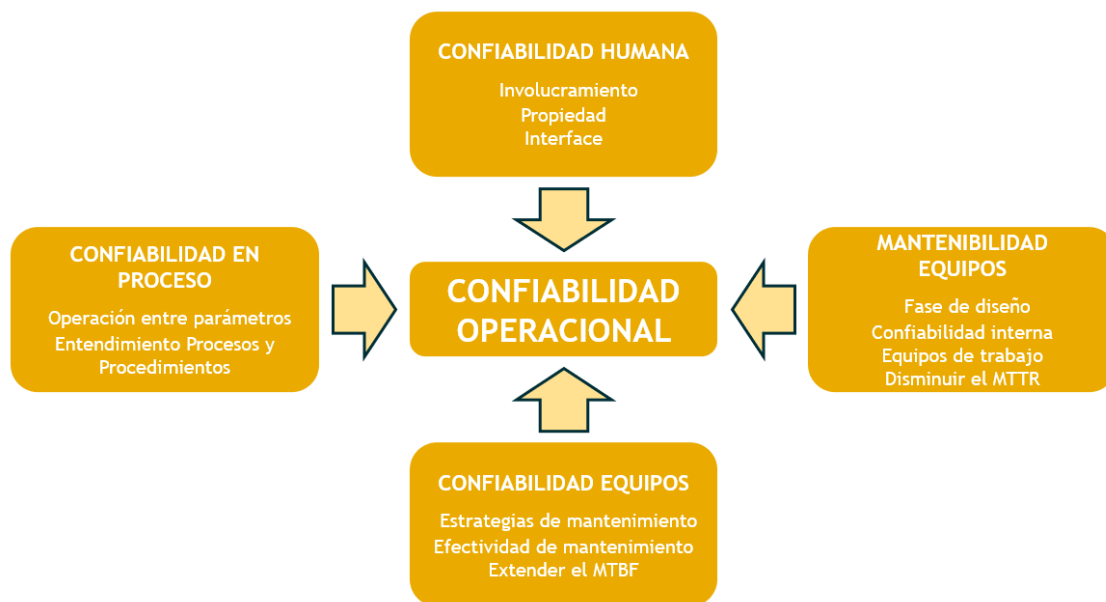


Figura D.4: Pilares de la confiabilidad operacional (elaboración propia).

### **D.2.1 Confiabilidad en procesos**

La confiabilidad operacional abarca la probabilidad de que un proceso o sistema funcione de manera constante en concordancia con la producción, lo que implica mantener una operación estable dentro de los parámetros de diseño y asegurar una interpretación precisa de los procesos y procedimientos. Esto requiere una comprensión profunda del proceso productivo, incluyendo información detallada sobre las actividades y la secuencia crítica. Esta información es esencial, ya que respalda a los equipos críticos, cuyas fallas pueden causar pérdidas considerables, y permite la planificación de actividades para optimizar el rendimiento.

La gestión de distintos parámetros y procesos, con el fin de prevenir fallos y sus consecuencias, es un enfoque fundamental en la confiabilidad operacional. Por ejemplo, se recomienda evitar la disposición de equipos en serie, ya que esto aumenta las probabilidades de fallos. En su lugar, se prefiere la disposición en paralelo, lo que reduce las probabilidades de fallo y mejora la confiabilidad del sistema.

### **D.2.2 Confiabilidad en el equipo**

La confiabilidad operacional se define como la probabilidad de que un equipo cumpla de manera efectiva con su función asignada dentro de un período de tiempo determinado. Este concepto abarca aspectos como las estrategias empleadas, la eficacia del mantenimiento y el aumento del tiempo promedio entre fallos de los activos (MTBF). En esencia, se busca desarrollar equipos lo suficientemente robustos para adaptarse al contexto operativo en el que se encuentran.

El enfoque se centra en estrategias de mantenimiento efectivas con el objetivo de extender y optimizar el MTBF (Medium Time Before Fail). Esto implica que los equipos deben ser lo suficientemente robustos y adecuados para el tipo de operación que realizan. En caso contrario, si un equipo no es lo bastante robusto para funcionar adecuadamente en su entorno operativo, es probable que falle antes de lo esperado, lo que generará costos adicionales por reparaciones.

### **D.2.3 Mantenibilidad de equipos**

La mantenibilidad es un aspecto esencial para garantizar la confiabilidad operacional de los equipos. Se refiere a la facilidad con la que se puede llevar a cabo una intervención de mantenimiento o reparación en un equipo, y se mide en función de la cantidad de tiempo durante el cual el equipo está fuera de servicio, lo que se conoce como el tiempo medio de reparación (MTTR). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la mantenibilidad no solo se relaciona con el MTTR, sino también con la variabilidad en los tiempos requeridos para las tareas de mantenimiento.

La capacidad de mantener equipos eficientemente está estrechamente vinculada al diseño del proceso de producción. Por lo tanto, es de vital importancia establecer un diseño sólido durante

la fase de ingeniería de un proyecto. Modificaciones posteriores suelen implicar alteraciones en la infraestructura y la instalación de equipos, lo que dificulta su implementación en las etapas operativas (fases Brownfield) del proyecto. Por tanto, al desarrollar la mantenibilidad desde las etapas iniciales, se obtienen mejores posibilidades de intervenir con éxito y reducir los tiempos de reparación, lo que contribuye a una mayor confiabilidad operacional en el proyecto.

#### D.2.4 Confiabilidad humana

Corresponde a el conjunto de factores, propios de las competencias laborales, que se relacionan con la predicción, análisis y reducción del error humano, focalizándose sobre el rol de la persona en el diseño, operación, mantenimiento y gestión de un sistema. (Arata, 2009)

Se refiere a la importancia de contar con niveles adecuados de competencia, conocimiento, talento y motivación para alcanzar los objetivos dentro de un proceso industrial, contribuyendo así a la realización de la misión y visión de una empresa. Este logro se materializa mediante el desarrollo continuo de las personas, que incluye la inversión de una parte del presupuesto de capital (CAPEX) en su capacitación.

La confiabilidad humana abarca diversos elementos que permiten mejorar las competencias laborales relacionadas con el conocimiento, las habilidades y las destrezas de cada miembro de la organización en su puesto de trabajo. Esto tiene como objetivo generar capital intelectual a través de la adquisición de conocimiento, la gestión de información, la creación de propiedad intelectual y la acumulación de experiencia, todo lo cual añade valor a la empresa

### D.3 Disponibilidad

Se refiere a la medida de cuánto tiempo un sistema o equipo está operativo y listo para funcionar cuando se le necesita. Se expresa generalmente como un porcentaje y se calcula dividiendo el tiempo en que el sistema o equipo está en funcionamiento y disponible para su uso entre el tiempo total en un período determinado. De forma matemática, la disponibilidad queda representada por:

$$A = \frac{UT}{(UT + DT)} \quad (D.5)$$

donde UT (up-time) representa el tiempo en que sistema está realmente disponible para el funcionamiento y DT (down-time) representa el tiempo fuera de servicio imputable a causas técnicas. Una alta disponibilidad es deseable en muchas aplicaciones, ya que indica que el equipo o sistema está funcionando de manera confiable y está disponible cuando se necesita. Por otro lado, una baja disponibilidad puede indicar que el equipo tiene problemas frecuentes y no está disponible para su

uso la mayor parte del tiempo. La disponibilidad es una métrica importante en el mantenimiento y la gestión de activos, ya que ayuda a evaluar el rendimiento y la confiabilidad de los equipos y sistemas.

## D.4 Nivel de confiabilidad óptimo

A medida que el MTBF aumenta y el MTTR disminuye, la confiabilidad experimenta un incremento y mejora. Esto se traduce en una mayor disponibilidad, lo que significa que un equipo se encuentra apto para funcionar durante la mayor parte del tiempo. Aprovechando al máximo la capacidad de los equipos, es posible lograr un mayor EBITDA. Sin embargo, es importante reconocer la necesidad de realizar inversiones para elevar el nivel de confiabilidad. En este contexto, se busca alcanzar un nivel de confiabilidad óptimo, que representa el objetivo de las mejoras en confiabilidad, donde los costos totales se minimizan (Nivel de inversión + Costos de ineficiencia).

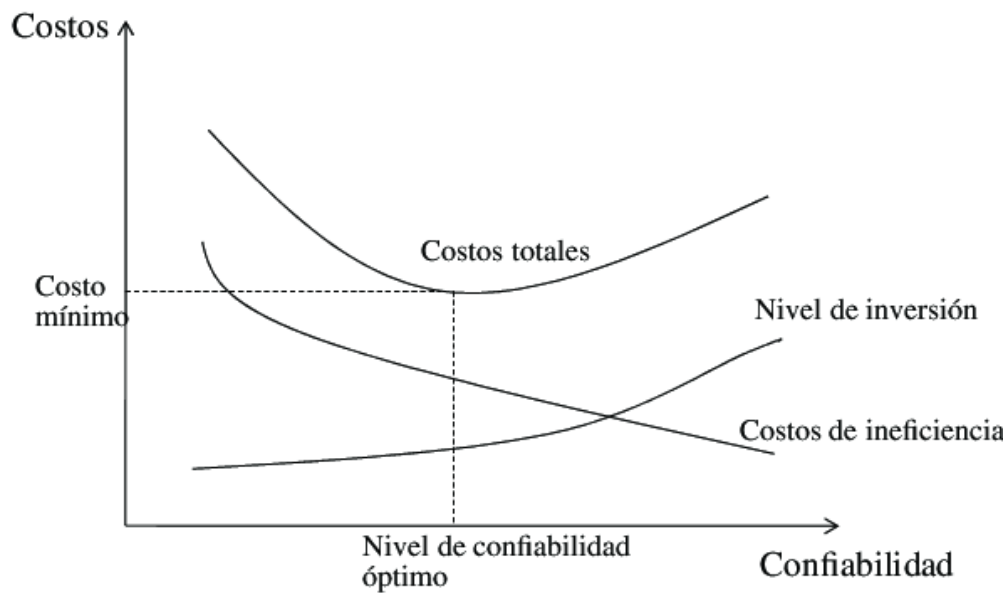


Figura D.5: Curva de confiabilidad vs Costos (Arata, 2009).

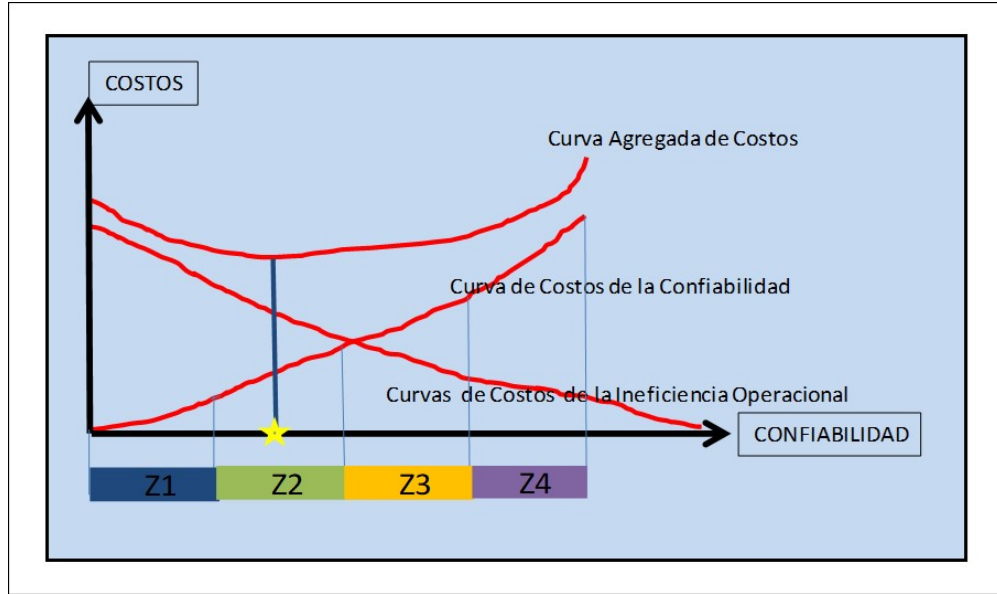


Figura D.6: Costos vs Confiabilidad (Valdenegro, 2023).

Dónde:

- Z1: Inversiones que se hagan del punto de vista de la confiabilidad humana.
- Z2: Inversiones relacionadas con confiabilidad de proceso.
- Z3: Confiabilidad asociada a los equipos.
- Z4: Inversiones relacionadas con mantenibilidad de los procesos.

De la figura anterior, se puede visualizar que la estrella corresponde al nivel de confiabilidad óptimo, ubicado en **Z2**, resultando como coincidencia las inversiones relacionadas con la confiabilidad del proceso.

## D.5 Integridad operacional

La integridad operacional se refiere a la capacidad de un sistema, proceso o equipo para funcionar de manera segura y confiable a lo largo de su ciclo de vida, cumpliendo con los estándares de seguridad, calidad y desempeño requeridos. Se centra en la prevención de incidentes, la minimización de riesgos, la gestión adecuada de los activos y la garantía de que las operaciones se lleven a cabo de manera efectiva y eficiente.

Consiste en visualizar los resultados esperados de las operaciones industriales realizadas de acuerdo con el HSEC. En el caso de los proyectos, lo que se busca es ser rentables. La forma

en que se mide la eficiencia de la integridad operacional es a través del EBITDA. Dentro de las exigencias que tiene la integridad operacional se encuentra:

1. Rentabilidad
2. Sustentabilidad y sostenibilidad sin afectar el HSEC.
3. Competitividad, la cual debe ser **productiva, de calidad, y flexible**, es decir, su producción debe adecuarse a diferentes contextos de mercado para así generar alta disponibilidad (por ejemplo, debido a la pandemia, se hicieron innovaciones e inversiones en respiradores mecánicos, alcohol gel).
4. Mantenibilidad e Ingeniería de confiabilidad operacional, los cuales generan los pilares y bases fundamentales para la integridad operacional. La confiabilidad depende de los niveles de mantenibilidad. A medida que se mejoran los niveles de mantenibilidad, la confiabilidad mejora.
5. Aspectos económicos (compra de equipos para lograr una operación optimizada).

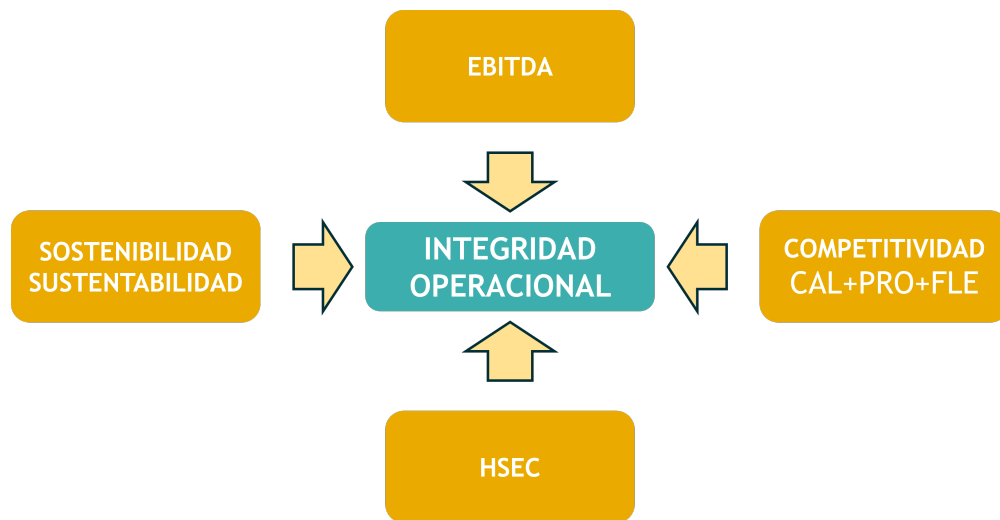


Figura D.7: Pilares de la Integridad Operacional (elaboración propia).

Para lograr un nivel de integridad operacional óptimo, se debe alcanzar en primera instancia un nivel de confiabilidad operacional óptimo, basado en sus 4 pilares fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad en procesos, confiabilidad en equipos y mantenibilidad de equipos.

## D.6 Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean Time Between Failure o MTBF corresponde al tiempo medio entre fallas, es decir, el tiempo que un equipo funciona sin interrupciones. El MTBF se destaca como uno de los indicadores clave de rendimiento (KPI) más eficientes en el análisis de la confiabilidad de los activos y en la anticipación de su desempeño futuro. En consecuencia, el propósito radica en esforzarse por mantener el MTBF en el nivel más alto posible, lo que contribuirá a la mejora de la confiabilidad del sistema. Este indicador se calcula de la siguiente forma:

$$MTBF = \int_0^{inf} R(t)dt \quad (D.6)$$

Entre las ventajas de su seguimiento, tenemos:

- Optimiza la programación del mantenimiento preventivo.
- Predice la frecuencia de los fallos durante la producción.
- Permite estimar cuando un activo puede fallar o necesita ser reemplazado.
- Mejora el inventario y la disponibilidad de las piezas.

## D.7 Mean Time To Failure (MTTF)

El tiempo medio para la falla indica con qué frecuencia ocurre la falla del equipo. Esta se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$MTTF = \frac{T_0 \times n}{\sum_{i=1}^n Cf_{(i)}} \quad (D.7)$$

Donde  $T_0$  es el tiempo de operación considerado para el análisis,  $n$  es la cantidad de unidades activas y  $Cf_{(i)}$  corresponde a las fallas ocurridas para cada unidad activa durante el tiempo  $T_0$

La aproximación será aún más precisa a medida que se aumente el tiempo de operación y la cantidad de unidades consideradas.

## D.8 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time To Repair o MTTR corresponde al tiempo medio en que toma realizar una reparación o mantenimiento a un equipo, incluyendo el tiempo que se tarda en probar y diagnosticar. Se puede expresar de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{T_{tr}}{C_t} \quad (D.8)$$

Donde  $T_{tr}$  corresponde al tiempo total de reparación y  $C_t$  al número total de reparaciones.

El MTTR ayuda de esta manera al área de confiabilidad a ver cuánto tiempo tarda el personal involucrado en reparar una máquina específica y examinar de esa manera el por qué una reparación concreta conlleva más tiempo del esperado. Está directamente relacionado con la situación actual del mantenimiento y su objetivo es mantener este parámetro lo más bajo posible para reducir el tiempo de inactividad del equipo.

Entre las ventajas de su seguimiento, tenemos:

- Comprende la capacidad de reacción de la operación ante los fallos.
- Identifica los casos frecuentes de reparación y planifica en consecuencia.
- Mide con respecto al MTTR anterior con tal de acortar el tiempo de inactividad.

Dentro del MTTR existen distintos tipos de mantenimientos que se detallan a continuación:

### **D.8.1 Mantenimiento preventivo**

Tiene como misión realizar mantenimiento en unos intervalos determinados o criterios prescritos, con tal de sustituir los elementos de un equipo antes de su falla. Este tipo de mantenimiento tiene como objetivos:

1. Prevenir Fallas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo o Periódico (mantenimiento basado en el tiempo), por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la confiabilidad de los equipos (MTBF) sin considerar las peculiaridades de una instalación dada (Arata, 2009).
2. Detectar fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Está basado en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos. También conocido como mantenimiento basado en condición. A diferencia del mantenimiento basado en el tiempo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el mantenimiento basado en condición verifica muy de cerca la operación de cada máquina en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar, ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación (Arata, 2009).

### **D.8.2 Mantenimiento Correctivo**

Corresponde al mantenimiento que se ejecuta después de que un elemento falla, sustituyendo este por un componente nuevo. Este se clasifica en:

1. No planificado: Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia, ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.) (Arata, 2009).
2. Planificado: Es aquel en donde se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se detenga el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente (Arata, 2009).

### **D.8.3 Mantenimiento Predictivo**

En este tipo de mantenimiento se sustituyen elementos en base a resultados de monitorización del funcionamiento del equipo. Es una técnica para poder pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que este pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. De esta manera, el tiempo muerto del equipo se minimiza y la vida útil del componente se maximiza.

## **D.9 Mapa de Flujo de Valor (VSM)**

Es una herramienta utilizada en la metodología Lean, que se emplea para visualizar y analizar el flujo de materiales, información y actividades a lo largo de un proceso empresarial o de producción. El propósito principal de un Value Stream Map es identificar y eliminar desperdicios (actividades que no añaden valor) en un proceso, lo que ayuda a mejorar la eficiencia y la productividad.

Al crear un VSM, se representan gráficamente todas las etapas del proceso, desde la materia prima o la entrada inicial hasta la entrega del producto o servicio final al cliente. Se utilizan símbolos y notaciones específicas para mostrar diferentes elementos, como procesos, flujo de información, tiempos de ciclo, inventario, esperas y más. El mapeo del flujo de valor permite identificar cuellos de botella, actividades innecesarias, retrasos y otras áreas de mejora en el proceso.

Al analizar un Value Stream Map, las organizaciones pueden tomar medidas para optimizar sus procesos, reducir los tiempos de ciclo, minimizar el inventario y mejorar la calidad, lo que conduce a una producción más eficiente y rentable. Esta herramienta es ampliamente utilizada en entornos de fabricación y también en otros sectores, como servicios, logística y atención al cliente, para mejorar la calidad y el flujo de valor en sus operaciones.

## D.10 Metodología Lean

Es una filosofía de gestión inspirada en las prácticas del Sistema de Producción de Toyota (TPS). La esencia de Lean radica en la satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente, al tiempo que se minimiza el consumo de recursos, mediante la constante eliminación de desperdicios, variaciones e inflexibilidades. Su objetivo fundamental es generar el máximo valor para el cliente al mismo tiempo que se optimizan los recursos, se ahorra tiempo, se reduce el consumo de energía y se minimiza el esfuerzo, logrando esto a través de:

- Comprender la verdadera situación en el lugar donde se genera el valor, en el "gemba".
- Optimizar los procedimientos a través de los cuales se producen y proporcionan productos y servicios.
- Fomentar el desarrollo de las capacidades individuales a través de la resolución de problemas y el coaching.
- Cultivar líderes y establecer un sistema de gestión altamente eficiente.

Entre los beneficios de aplicar la metodología Lean en una empresa se encuentran:

1. **Reducción de costos:** Mediante la optimización de los procesos de producción, se logra aumentar la cantidad de servicios o productos disponibles. Además, al eliminar los gastos superfluos, se consigue una reducción de los costos.
2. **Satisfacción de los clientes:** Se cuentan con mayores recursos y un plazo extendido para la mejora de los productos. Además, se dispone de un producto mínimo viable que satisface las necesidades y expectativas de un público específico, entregándolo en el momento oportuno.
3. **Menos riesgos:** El empresario asume un riesgo reducido al basar sus decisiones en datos en lugar de apreciaciones. Estas decisiones están respaldadas por una base más sólida y, en consecuencia, presentan una probabilidad menor de error.
4. **Reducción del plazo de ejecución y de las actividades sin valor:** Se experimenta un aumento en la demanda comercial que requiere la disponibilidad inmediata de productos, al mismo tiempo que se logra una disminución en los productos defectuosos y en el tiempo de inactividad.

Este enfoque de gestión minimiza los desperdicios y reduce la sobreproducción, lo que se traduce en ahorros significativos en la gestión del inventario.

5. **Trabajo en equipo:** Cada miembro del personal se considera una parte integral del proceso en su totalidad, lo que conduce a la disminución de las tasas de fracaso. Esto ejerce un impacto positivo en la motivación del equipo y, en consecuencia, en su rendimiento. A su vez, se fomenta un ambiente laboral más favorable, un componente esencial para el funcionamiento óptimo de cualquier empresa.

El pensamiento y la aplicación de Lean contribuyen a que las organizaciones sean innovadoras y competitivas, lo que a su vez las dota de sostenibilidad. En la actualidad, Lean se ha transformado en un enfoque más eficiente para llevar a cabo el trabajo, independientemente de la naturaleza del trabajo, el sector o el tamaño de la organización. En una empresa orientada al Lean, los desafíos se consideran oportunidades genuinas para el aprendizaje valioso, en lugar de errores que se esconden o se solucionan apresuradamente. Los líderes desempeñan el papel de entrenadores, ayudando a otros a sentirse cómodos al identificar problemas y a practicar la mejora continua de manera constante.

## D.11 Lean Management

Corresponde a una evolución del Lean Manufacturing, la cual tuvo inicio en Japón en los 70's a partir del Sistema de Producción de Toyota (TPS) encabezado por Taiichi Ohno, Eiyu Toyoda y Shigeo Shingo, quienes buscaban un sistema de producción que no generara desperdicios a los cambios del mercado y que de manera adicional, se redujeran los costos. Al igual que la metodología Lean, el objetivo es mejorar la eficiencia operativa mediante la eliminación de actividades que no agregan valor al producto o servicio final pero trasladado a los distintos ámbitos de la empresa. En lugar de tratar de mantener un control total de los procesos de trabajo, el Lean management fomenta la responsabilidad y el liderazgo compartidos. Es por eso que los dos pilares principales de la metodología Lean son **el respeto a las personas y la mejora continua**.

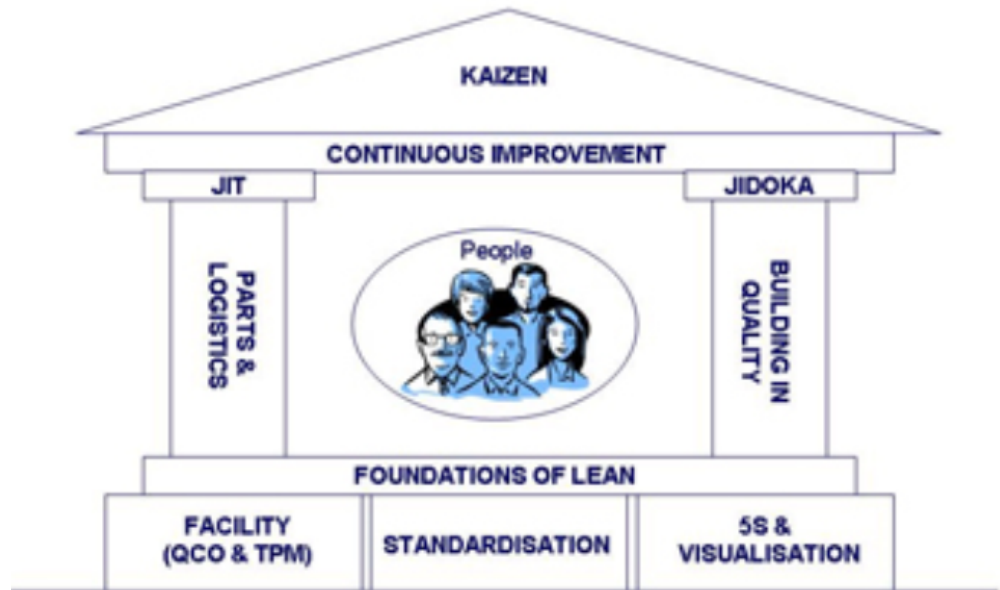


Figura D.8: Templo Lean (Wijaya et al., 2009).

Esta filosofía pretende romper los 3 paradigmas fundamentales asociados al Lean Manufacturing:

- Lean no es exclusivo de la industria del automóvil.
- Lean no es exclusivo para empresas de gran tamaño.
- Lean no es exclusivo del sector Industrial.

Los principios básicos de la metodología Lean Management son:

1. **Identificar valor:** Identificar y comprender claramente lo que los clientes valoran y enfocarse en proporcionar ese valor de manera eficiente.
2. **Mapeo de flujo de valor:** La implementación del principio Lean de mapeo de flujo de valor revelará las áreas donde se genera valor y proporcionará una visión clara de cómo distintas etapas del proceso contribuyen o no al valor. Una vez que se haya completado el mapeo, será más sencillo asignar procesos a equipos específicos y identificar quién es responsable de medir, evaluar y mejorar cada uno. Este análisis integral facilitará la identificación de pasos que no añaden valor, permitiendo su eliminación eficiente.
3. **Crear un flujo de trabajo continuo:** Tras alcanzar un dominio en el flujo de valor, es crucial garantizar que el flujo de trabajo de cada equipo se mantenga consistente. Es importante tener en cuenta que este proceso puede llevar cierto tiempo.

En el desarrollo de un producto o servicio, es común involucrar a equipos multifuncionales, lo que puede dar lugar a cuellos de botella e interrupciones en cualquier etapa. Sin embargo, al subdividir el trabajo en unidades más pequeñas y visualizar claramente el flujo de trabajo, es posible identificar y eliminar de manera eficiente los obstáculos del proceso.

4. **Crear un sistema Pull:** La ejecución de tareas se lleva a cabo únicamente en respuesta a la demanda existente. Esta práctica permite maximizar la eficiencia de los recursos y proporcionar productos o servicios exclusivamente cuando hay una necesidad real.
5. **Mejora continua:** Fomentar una cultura de mejora constante. Los equipos buscan continuamente formas de hacer las cosas de manera más eficiente y efectiva.

Dentro de MLP, la metodología Lean Management establece 4 objetivos principales en conjunto a sus herramientas para lograrlos: **objetivo común, mejora continua, procesos eficientes y desarrollo de personas.**

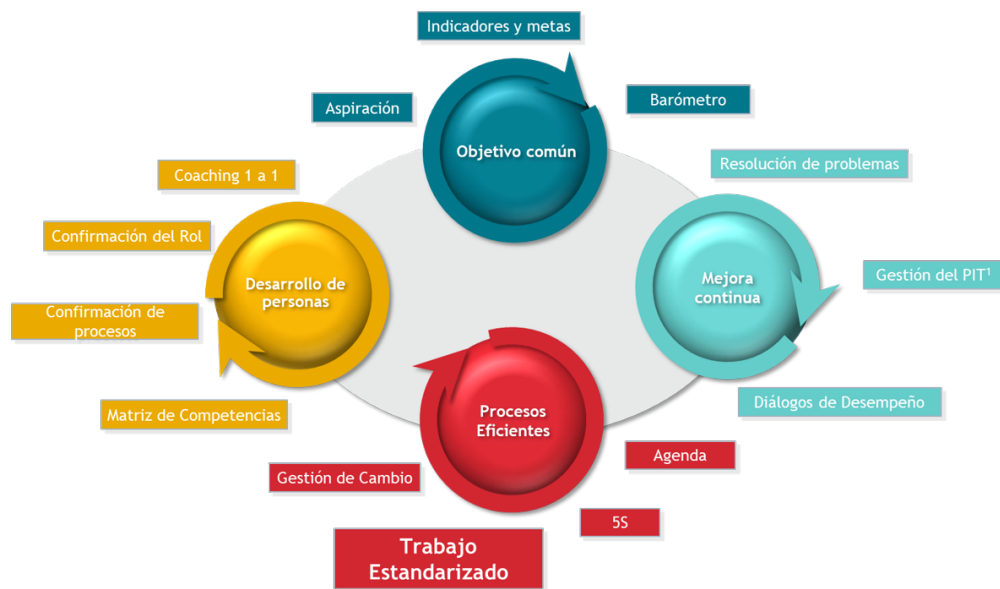


Figura D.9: Objetivos y herramientas Lean Management (Pelambres, 2023).

## D.12 TPM

Una de las leyes esenciales del enfoque Lean en el mantenimiento se conoce como Mantenimiento Productivo Total o TPM (Total Productive Maintenance). Este concepto está diseñado para lograr la máxima confiabilidad de los activos que respaldan la producción. El propósito del TPM abarca la eliminación de accidentes, defectos y fallas. Este enfoque implica un mantenimiento basado

en activos que compromete a todos los niveles y funciones dentro de la organización, desde altos ejecutivos hasta el personal en el área de producción.

El TPM aborda de manera integral todo el ciclo de vida del sistema de producción y establece un sistema robusto arraigado en el entorno de producción para prevenir todas las posibles pérdidas. Las actividades de TPM deben centrarse en obtener resultados tangibles. Un indicador clave de rendimiento en el TPM es la Eficacia General del Equipo, conocida como O.E.E. (Overall Equipment Effectiveness) cuyo cálculo se obtiene de la siguiente ecuación:

$$O.E.E. = Disponibilidad [\%] * Utilización [\%] * Rendimiento [\%] \quad (D.9)$$

Por esta razón, el trabajo de mantenimiento debe ser meticulosamente estandarizado para garantizar la entrega de activos completamente disponibles y precisos al cien por ciento para la producción.

## D.13 Trabajo Estandarizado

Estandarizar es realizar una determinada operación siempre de la misma manera y en el mismo tiempo. Está bajo unas pautas establecidas, de modo que se obtienen resultados repetitivos. El objetivo final de estandarizar corresponde a la reducción de las variaciones en un proceso (Pelambres, 2023).

Por otro lado, la estandarización es una metodología mediante la cual a través de descripciones descritas y gráficas se ayuda a comprender las técnicas más eficaces y fiables para realizar un proceso. El fin de este proceso no es más que producir productos de calidad, de modo fiable, seguro, barato y rápidamente. Un estándar se crea para mejorarlo.

Particularmente, el trabajo estandarizado corresponde a un método altamente definido, efectivo y estructurado para ejecutar una actividad, con foco en la eliminación de pérdidas y centrado en los individuos y sus movimientos. Los pilares fundamentales del trabajo estandarizado son:

- **Seguro:** Los riesgos son identificados fácilmente y los controles establecidos.
- **Fácil:** La actividad se vuelve más calmada, ágil en control y menos frustrante.
- **Mejor:** La tarea es consistente y de calidad, reduciendo el trabajo y tiempo inactivo.

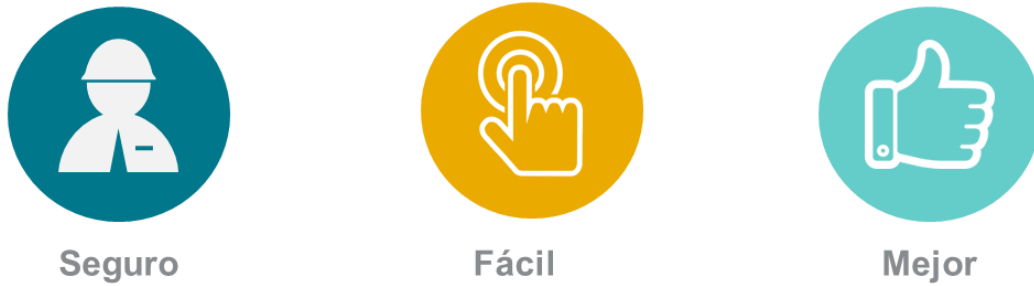


Figura D.10: Principales pilares del trabajo estandarizado (Pelambres, 2023).

En términos prácticos, el trabajo estandarizado en conjunto a la filosofía Lean busca:

- **Reducir los tiempos incidentales**, que corresponde al trabajo que no agrega valor pero que es necesario para habilitar el trabajo que agrega valor (por ejemplo: recarga de combustible).
- **Reducir los desperdicios**, que son trabajos que consume recursos, pero no agrega valor al producto y que pueden ser eliminados sin impacto para el cliente (por ejemplo: retrabajos, desplazamientos, entre otros).
- **Aumentar, maximizar o agregar valor**, que es el trabajo que cambia o transforma un producto o servicio de su estado original a un estado más valioso desde el punto de vista del cliente (por ejemplo: extraer mineral).



Figura D.11: Objetivo del Trabajo Estandarizado (elaboración propia).

Dentro del trabajo estandarizado están establecido 5 pasos seguir:

### D.13.1 Captura de la actividad

: Corresponde a la primera etapa de la herramienta lean de trabajo estandarizado. En esta etapa se recopila toda la información necesaria para optimizar una actividad, centra en la persona. Se documenta a través de registros escritos, digitales, filmaciones, entre otros medios, con el propósito

de identificar con el máximo detalle la actividad que se busca estandarizar, desde su inicio hasta su conclusión. Este proceso toma en cuenta la participación de todos los trabajadores involucrados en la ejecución de dicha labor y se busca identificar: roles, riesgos de seguridad, piezas, herramientas, actividades de calidad y habilidades.

### ¿Qué involucra?

- Identificar cuándo la actividad debe ser capturada
- Preparación y priorización de qué capturar:
  - Documentación del proceso existente (procedimientos, especificaciones técnicas)
  - Conversaciones con personal en terreno para determinar complejidad de la tarea

### Herramientas y marcos de trabajo relevantes

- Equipo de filmación (e.j. Iphone, GoPro 4, GoPro 5)
- Equipos misceláneos (e.j. Trípodes, acople casco, etc.)

## D.13.2 Análisis de la actividad

: En esta fase, se detectan todos los elementos no productivos de la actividad que fue registrada previamente. La clave para el éxito en esta etapa radica en la participación de personal experto, preferiblemente aquellos que están directamente involucrados en la actividad. Su experiencia les permite identificar las acciones que no aportan valor al proceso, ya que poseen un conocimiento profundo del mismo al ser quienes ejecutan dicha actividad y cuentan con el know-how necesario.

### ¿Qué involucra?

- Análisis de lo capturado en vídeo para separar el trabajo de los desperdicios, incluyendo:
  - Edición de vídeo
  - Transcripción de vídeo
  - Análisis e identificación de elementos
- Desglosar la actividad con la información de las pautas y la experiencia del equipo de ejecución.
- Identificar los pasos que agregan valor los desperdicios existentes en la ejecución.

- Secuenciar la actividad (optimizar el valor y reducir el desperdicio, sobrecarga y desplazamientos) *¿Cuáles son los pasos esenciales necesarios para esta actividad?*
- Identificar oportunidades de mejora *¿Qué se puede eliminar de esta actividad?*
- La definición de "trabajo" como actividad que involucra esfuerzo mental o físico aplicado para alcanzar un resultado
- En trabajo estandarizado, se considera:
  - Elementos: Acción discreta que agrega o permite valor
  - Desperdicio: Acciones que no agregan valor y que pueden ser removidas de una actividad.

### ¿Cómo secuenciar y optimizar los pasos?

Se realiza una línea cronológica del mantenimiento a través de un rotafolio con notas adhesivas, donde se indican las actividades realizadas, roles participantes, mejores prácticas, controles de seguridad, etc.

- Secuenciación
  1. Escribir los roles para la actividad en carriles horizontales.
  2. Configurar líneas verticales y horizontales en bloques de tiempo.
  3. Colocar notas adhesivas en la cuadrícula
- Optimización
  1. Especificar partes y herramientas.
  2. Especificar mejores prácticas/oportunidades
  3. Revisar el flujo y el movimiento humano.

### Herramientas y marcos de trabajo relevante

- Software de edición de vídeo y análisis de información (Excel)
- Clasificación de desperdicio- Los 8 tipos de desperdicio (MUDA)
- Principios de variación
- Principios de sobre-carga
- Entendimiento de trabajo interno y externo

### D.13.3 Creación del estándar

: Después de identificar los elementos no productivos, se procede a diseñar una nueva metodología para llevar a cabo la actividad, teniendo en cuenta:

- Cada componente del trabajo necesario.
- Los formatos asociados a la actividad, como esquemas, planos, instrucciones paso a paso, entre otros.
- Las funciones específicas de cada trabajador y la secuencia correspondiente.

Además, es esencial trazar la secuencia y equilibrar la carga para cada uno de los roles involucrados.

#### ¿Qué involucra?

- Crear elementos, entender el qué, cómo y por qué un elemento de trabajo es requerido.
- Crear formatos de actividad y cargar los esquemáticos y planos de área de trabajo.
- Crear roles relacionados a la ejecución de una actividad.
- Crear secuencia para los roles.
- Mapear elementos a secuencias (introducir movimiento) y balancear secuencias para los roles. Al hacer esto, se deben considerar los tipos de elementos que incluye 3 de las 4Ms:

- Método (Mejor práctica)
- Maquinaria (herramienta)
- Material (Partes)

- Seguridad.
- Calidad.

#### Herramientas y marcos de trabajo relevante

- Base de datos de elementos
- Aplicación de construcción de trabajo estandarizado (SW)
- Las 4Ms-Mano de Obra, Método, Maquinaria y Materiales.

### D.13.4 Ejecución del estándar

: Capacitar a los roles que desempeñarán funciones según este nuevo estándar. Obtener comentarios inmediatos por parte de los trabajadores con respecto al nuevo protocolo.

#### ¿Qué involucra?

- Una vez construido el estándar, es momento de ejecutar en terreno.
- Se revisa el estándar con operarios para un completo entendimiento previo.
- La ejecución de trabajo estandarizado consiste en correr una secuencia de actividad diseñada .
- Utilización de herramientas visuales y de time on tools para monitorear el desempeño de las actividades. Estas herramientas visuales son flexibles (mientras la memoria muscular permite el desarrollo de tareas repetitivas, las tareas más infrecuentes requieren de trabajo estandarizado)
- Cuando se conduce trabajo estandarizado en terreno, se debe considerar:
  - Requerimientos de personal (número de personas, competencias)
  - Equipos y herramientas

#### Herramientas y marcos de trabajo relevantes

- Estándar de trabajo
- Secuencia de actividades-Excel
- Tablero de secuencia de actividades

### D.13.5 Iteración

: En esta fase, se identifican los desafíos asociados al nuevo estándar con el fin de establecer metas y aplicar un análisis de causa raíz. Este análisis busca generar acciones destinadas a abordar las causas fundamentales de los problemas identificados en el nuevo estándar, como por ejemplo, la reducción de pérdidas, eliminación de variabilidad y sobrecargas. Posteriormente, se realiza un seguimiento continuo del proceso y los resultados obtenidos para, finalmente, estandarizar y replicar los procesos exitosos.

Estos pasos pueden repetirse según sea necesario, siempre considerando los beneficios de cada iteración en comparación con la inversión requerida para llevar a cabo los 5 pasos. Las primeras

iteraciones son las que generan más valor, y a medida que se avanza, este valor tiende a disminuir hasta alcanzar el punto de equilibrio, donde ya no resulta rentable continuar iterando.

### ¿Qué involucra?

- La filosofía detrás de Trabajo Estandarizado es trabajar de acuerdo a un estándar, que es mejorable continuamente.
- El estándar suele no estar correcto la primera vez, y en cada iteración es posible introducir eficiencias adicionales a esta actividad
- El foco de iterar es al fin y al cabo:
  - Clarificar y abrir el problema.
  - Establecer objetivos .
  - Analizar causas raíces (reducción de pérdida, variación y sobre-carga).
  - Desarrollar acciones o contramedidas.
  - Monitorear el proceso y los resultados.
  - Estandarizar y replicar procesos exitosos.

### Herramientas y marcos de trabajo relevantes

- Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Revisar, Actuar).
- Herramientas de gestión de vista.
- Formatos y herramientas de resolución de problemas.

## D.14 Tipos de Desperdicios

Dentro de un sistema de producción, los desperdicios o actividades que no generan valor se pueden clasificar en 3 términos:

### D.14.1 MUDA

Este palabra proviene del japonés, la cuál significa "despilfarro". Se refiere a los desperdicios relacionados con la producción, que no agregan valor al producto o servicio final, como por ejemplo fallos que precisan rectificación, producción de artículos que nadie desea y el consiguiente amontonamiento de existencias y productos sobrantes, pasos en el proceso que realmente no son necesarios,

movimientos de empleados y transporte de productos de un lugar a otro sin ningún propósito, grupos de personas en una actividad aguas abajo, en espera porque una actividad aguas arriba no se ha entregado a tiempo, y bienes y servicios que no satisfacen las necesidades del cliente (Jones and Womack, 2003). Taiichi Ohno (1912-1990), el ejecutivo de Toyota que fue el mayor enemigo de los desperdicios de toda la historia, identificó siete de los ocho tipos de muda que se describieron anteriormente (que incluso pueden ser más). En términos prácticos, estos tipos de desperdicios o MUDA se pueden clasificar en ocho tipos de desperdicios:

1. **Defectos:** Cuando los productos o servicios no cumplen con los requisitos de calidad o los estándares del cliente, lo que aumenta los costos de rechazo y reparación.
2. **Sobre-producción:** Hacer más de lo necesario o más rápido de lo requerido.
3. **Tiempo espera:** Cuando los trabajadores, los materiales o los equipos tienen que esperar a que se completen otras tareas o procesos antes de poder realizar su trabajo.
4. **Talento no utilizado:** Cuando los trabajadores no se utilizan de manera efectiva o no se les da la oportunidad de utilizar todo su potencial, lo que puede llevar a la insatisfacción laboral y la rotación de personal.
5. **Transporte:** Cuando los productos, los materiales o los equipos se mueven innecesariamente de un lugar a otro, aumentando los costos y el riesgo de daños o pérdidas.
6. **Inventario:** Cuando se mantienen grandes cantidades de inventario en espera de ser utilizadas, lo que aumenta los costos de almacenamiento y el riesgo de obsolescencia.
7. **Movimientos:** Cuando los trabajadores tienen que realizar movimientos innecesarios o repetitivos durante su trabajo, lo que aumenta la fatiga y el riesgo de lesiones.
8. **Sobre-procesamiento:** Cuando se realizan tareas o procesos que no agregan valor al producto o servicio final, lo que aumenta los costos y el tiempo de producción.



Figura D.12: 8 desperdicios (Pelambres, 2023).

### D.14.2 MURA

Se refiere a los desperdicios relacionados con la falta de consistencia y estabilidad en el proceso de producción (Pelambres, 2023). Los síntomas de MURA pueden incluir:

- **Variabilidad:** Falta de estabilidad en el proceso de producción.
- **Cambios frecuentes:** Realizar cambios en el proceso de producción con demasiada frecuencia.
- **Sobre-carga:** Cargar a los trabajadores o equipos con más trabajo del que pueden manejar.
- **Falta de balance:** Falta de equilibrio en el trabajo asignado a los trabajadores o equipos.

### D.14.3 MURI

Se refiere a los desperdicios relacionados con la sobre-carga o falta de uso del equipo o de las personas (Pelambres, 2023). Los síntomas de MURI pueden incluir:

- **Sobre-carga del equipo:** Hacer que los equipos trabajen más allá de su capacidad o diseño.
- **Sobre-carga de las personas:** Hacer que los trabajadores trabajen más allá de sus capacidades físicas o mentales.
- **Falta de uso del equipo:** No utilizar los equipos de manera eficiente o efectiva.
- **Falta de uso de las personas:** No utilizar las habilidades y conocimientos de los trabajadores de manera efectiva.

## D.15 Análisis PESTAL

El análisis PESTAL, también conocido como análisis PESTLE o PESTEL, es una herramienta de evaluación estratégica utilizada en el ámbito empresarial y de planificación estratégica. Este análisis examina diversos factores externos que pueden afectar a una organización, ya sea de manera positiva o negativa. La sigla PESTAL representa diferentes categorías de factores:

- **Políticos (P):** Considera los aspectos relacionados con el entorno político y gubernamental que pueden influir en la organización. Esto incluye políticas, estabilidad política, regulaciones, impuestos y relaciones internacionales.
- **Económicos (E):** Examina las condiciones económicas que pueden afectar a la organización, como tasas de interés, inflación, tasas de cambio, crecimiento económico y ciclos económicos.
- **Sociales (S):** Analiza factores sociales y culturales que pueden influir en la organización, como demografía, tendencias de la sociedad, valores culturales, estilos de vida y comportamientos del consumidor.
- **Tecnológicos (T):** Se centra en las influencias tecnológicas que pueden afectar a la organización, como avances tecnológicos, innovaciones, obsolescencia tecnológica y cambios en la investigación y desarrollo.
- **Ambientales (A):** Considera los aspectos ambientales y ecológicos que pueden afectar a la organización, incluyendo sostenibilidad, regulaciones ambientales, cambio climático y prácticas sostenibles.
- **Legales (L):** Examina factores legales y jurídicos que pueden afectar a la organización, como leyes laborales, normativas de la industria, litigios y regulaciones gubernamentales.

## D.16 Análisis FODA

El análisis FODA, también conocido como análisis SWOT en inglés (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats), es una herramienta estratégica utilizada en la planificación empresarial para evaluar tanto los factores internos como externos que pueden influir en una organización. La sigla FODA representa:

- **Fortalezas (F):** Características internas positivas que otorgan ventajas competitivas a la organización. Esto puede incluir recursos, habilidades, activos, reputación de marca, y cualquier aspecto que confiera una posición sólida en el mercado.

- **Oportunidades (O):** Factores externos favorables que la organización puede aprovechar para su beneficio. Esto puede abarcar tendencias del mercado, cambios tecnológicos, vacíos en la competencia, o cualquier situación que pueda crear oportunidades para el crecimiento.
- **Debilidades (D):** Características internas desfavorables que representan desafíos o limitaciones para la organización. Estos pueden incluir carencias en recursos, habilidades, procesos internos o cualquier aspecto que debilite la posición competitiva.
- **Amenazas (A):** Factores externos que representan desafíos o riesgos para la organización. Esto puede incluir la competencia intensa, cambios en la regulación, fluctuaciones económicas, o cualquier situación que pueda amenazar el rendimiento y la estabilidad de la organización.

En resumen, es una herramienta integral que ayuda a las organizaciones a comprender sus fortalezas y debilidades internas, así como a identificar oportunidades y amenazas en el entorno externo. Con esta información, las organizaciones pueden desarrollar estrategias efectivas para maximizar sus fortalezas, abordar sus debilidades, aprovechar oportunidades y mitigar amenazas.

## D.17 Análisis de Pareto

Es una Herramienta de representación gráfica que identifica los problemas más importantes en función de su costo y tiempo, permitiendo establecer las prioridades de intervención. Se conoce como la regla 80/20, indica que el 80% de los problemas son originados por un 20% de las causas. El análisis de Pareto se utiliza para identificar y priorizar los problemas o factores que tienen el mayor impacto en un sistema o proceso.

La principal ventaja de aplicar el principio de Pareto radica en la capacidad de lograr un impacto significativo con un esfuerzo mínimo. Esto posibilita que los equipos trabajen con mayor eficiencia y se concentren de manera efectiva en iniciativas específicas. Entre otros beneficios de usar este tipo de análisis se encuentran:

- Prioridades claras para todo el equipo.
- Mayor productividad diaria.
- Capacidad de dividir el trabajo en grupos de tareas más simples.
- Estrategia más enfocada.

Al realizar un análisis de Pareto, los equipos de gestión pueden centrarse en abordar las causas fundamentales que tienen el mayor impacto, priorizando así los esfuerzos para lograr mejoras significativas en el sistema. Esta herramienta es ampliamente utilizada en la gestión de la calidad, la resolución de problemas y la toma de decisiones estratégicas en diversos campos.

## D.18 Análisis de Causa-Raíz

Es una metodología que sistemáticamente facilita la identificación de las causas raíces fundamentales de las fallas, con el propósito de aplicar soluciones que las eliminen de manera permanente. Estas causas pueden clasificarse en categorías como físicas, humanas o latentes/organizacionales.

La causa física se refiere a la explicación técnica detrás de la falla de un activo, la razón técnica por la cual el activo experimentó una falla. La causa humana abarca los errores humanos, ya sea por acción u omisión, que resultan en causas físicas de falla. Por último, las causas latentes engloban todas las deficiencias organizativas y de gestión que conducen a errores humanos, perpetuando las fallas en sistemas y procedimientos al no corregirse con el tiempo.

En términos generales, un árbol lógico de Análisis de Causa Raíz (ACR) comienza con la definición del evento inicial (por ejemplo, un problema crónico con los rodillos en las cintas transportadoras). Luego, se identifican los modos de falla (eje dañado, cojinete bloqueado, sellos dañados, banda deteriorada, rodillos doblados, cojinetes calientes), pasando luego al nivel de hipótesis (como la solidificación de la grasa en el rodamiento) y, finalmente, se llega al nivel de causas (por ejemplo, exceso de grasa, etc.).

El Análisis de Causa Raíz (RCA) tiene diversas aplicaciones, que trascienden el ámbito del mantenimiento:

- Análisis de Fallas, destinado a descubrir complicaciones en equipos o procesos críticos, representando una aplicación reactiva.
- Abordaje proactivo mediante el Análisis de Fallas recurrentes en equipos o procesos críticos.
- Aplicación en el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), una herramienta también empleada en el Marco de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM2).
- Examinar errores humanos durante el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Evaluar accidentes e incidentes dentro de sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SSO).

El proceso de Análisis de Causa Raíz implica realizar deducciones lógicas para visualizar las relaciones causa-efecto que conducen a descubrir el evento indeseado o causa raíz. Durante este proceso, se debe consultar:

- ¿Cuál es la secuencia que puede llevar a la ocurrencia de una falla?
- ¿Por qué o cuáles son las causas subyacentes de esta?

Es esencial respaldar estos hechos mediante observación directa, documentación y deducciones científicas.

## D.19 Las 6M

Las 6M constituyen una herramienta mnemotécnica fundamental empleada principalmente en la resolución de problemas y la toma de decisiones. Un recurso especialmente valioso para abordar desafíos en la producción y operaciones industriales es el diagrama de causas y efectos, conocido también como diagrama de Ishikawa. Esta técnica de resolución de problemas se revela beneficiosa al explorar y analizar cualquier inconveniente en entornos productivos. Su enfoque radica en identificar las posibles causas subyacentes de un problema y comprometerse activamente en su resolución. El método 6M se fundamenta en los siguientes criterios:

1. **Mano de obra:** Este aspecto aborda la mano de obra operativa y funcional involucrada en los procesos industriales. Se evalúa si las habilidades técnicas y la experiencia del personal son adecuadas. Este componente del método 6M indaga sobre la conciencia de calidad, la responsabilidad y el sentido de pertenencia del personal.
2. **Maquinaria:** Enfocado en máquinas, herramientas y otras instalaciones junto con los sistemas de apoyo correspondientes. ¿La maquinaria utilizada garantiza un rendimiento óptimo? ¿Se están empleando las máquinas y herramientas de manera eficiente para lograr un desempeño impecable?
3. **Material:** Gestión de materias primas, componentes y recursos para satisfacer las necesidades de producción y servicios. Se verifica la especificación correcta de los materiales, su almacenamiento adecuado, etiquetado y posterior utilización.
4. **Método:** Procedimientos de producción y apoyo, así como su aplicación y contribución a la prestación de servicios. ¿Existen procesos con pasos innecesarios que no añaden valor al sistema en su conjunto?
5. **Medio ambiente:** Considera las influencias ambientales controlables e imprevisibles en los procesos de operación. Incluye factores como el clima y otros fenómenos naturales. Facilita la toma de decisiones para abordar factores medioambientales manejables y cómo gestionar aquellos que no lo son.
6. **Medición:** Implica la comprobación, evaluación y otras medidas físicas, ya sean manuales o automáticas. Se presta especial atención a los errores de calibración y otros problemas de medición. Este criterio es crucial para evitar incoherencias en el proceso.

# Anexo E

## Detalle desperdicios MM julio L2

| Giro | Tipo de desperdicio | Fecha     | Hora inicio | Hora fin | Tiempo | Descripción  |
|------|---------------------|-----------|-------------|----------|--------|--|
| P    | Tiempo espera       | 25-jul-23 | 7:55        | 8:30     | 0,58   | CAMBIO DE TURNO  |
| P    | Tiempo espera       | 25-jul-23 | 22:55       | 23:40    | 0,75   | DEMORA EN DESBLOQUEO DEPARTAMENTAL DE MOLINO POR PARTE DE PERSONAL DE FLS                        |
| P    | Tiempo espera       | 26-jul-23 | 0:10        | 1:00     | 0,83   | LIMPIEZA DE TACOMETRO DE MOLINO  |
| 1    | Tiempo espera       | 26-jul-23 | 8:01        | 8:21     | 0,33   | A ESPERA DE ELECTRICO PARA BLOQUEAR  |
| 1    | Tiempo espera       | 26-jul-23 | 8:21        | 8:52     | 0,52   | BLOQUEO PERSONAL DE SALA   |
| 1    | Tiempo espera       | 26-jul-23 | 9:01        | 9:45     | 0,73   | REINGESO DE LAINERA  |
| 1    | Tiempo espera       | 26-jul-23 | 15:02       | 15:50    | 0,80   | RETIRO DE LAINERA PARA GIRO (TIEMPOS NO REGISTRATOS EN CARTA GANTT)                              |
| 2    | Tiempo espera       | 26-jul-23 | 18:00       | 18:21    | 0,35   | REINGRESO DE LAINERA   |
| 2    | Tiempo espera       | 27-jul-23 | 1:19        | 1:29     | 0,17   | BLOQUEO POR PARTE DE ELECTRICOS PARA LAVAR TACOMETRO   |
| 3    | Tiempo espera       | 27-jul-23 | 14:28       | 15:00    | 0,53   | SE RETIRA LAINERA COMPLETA PARA REALIZAR GIRO PASO A PASO HASTA QUE QUEDE EN POSICIÓN            |
| 4    | Tiempo espera       | 27-jul-23 | 22:30       | 22:42    | 0,20   | SE DETIENE LIMPIEZA EN LADO IZQUIERDO, ENTRA AL MOLINO PERSONAL DE TECNYSOL A INSPECCIONAR FALLA |
| 4    | Tiempo espera       | 28-jul-23 | 1:40        | 6:20     | 4,67   | FALLO ELÉCTRICO EN BOMBA DE SAG, LO QUE IMPIDE GIRAR MOLINO                                      |
| 5    | Tiempo espera       | 28-jul-23 | 14:12       | 14:47    | 0,58   | RETIRO DE LAINERA PARA GIRO 6 (TIEMPO NO CONSIDERADO EN LA GANTT)                                |
| 6    | Tiempo espera       | 28-jul-23 | 22:38       | 22:52    | 0,23   | RETIRO DE LAINERA PARA GIRO (TIEMPOS NO REGISTRATOS EN CARTA GANTT)                              |
| 7    | Tiempo espera       | 28-jul-23 | 23:58       | 0:10     | 0,20   | INGRESO DE LAINERA (TIEMPO NO CONSIDERADO EN LA GANTT)   |
| 7    | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 6:20        | 6:26     | 0,10   | RETIRO DE LAINERA (TIEMPO NO CONSIDERADO EN LA GANTT)  |
| 8    | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 8:43        | 9:10     | 0,45   | INGRESO DE LAINERA PARA DAR COMIENZO S TORCHADO  |
| 8    | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 13:45       | 14:05    | 0,33   | RETIRO DE LAINERA PARA GIRO NÚMERO 9   |
| 8    | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 14:29       | 15:35    | 1,10   | RETRASO EN GIRO POR PROBLEMAS EN CALIPER   |
| 9    | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 15:55       | 16:10    | 0,25   | REINGRESO DE LAINERA   |
| 9    | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 18:00       | 18:15    | 0,25   | RETIRO DE LAINERA  |
| 10   | Tiempo espera       | 29-jul-23 | 18:56       | 19:14    | 0,30   | INGRESO DE LAINERA   |

Figura E.1: Horas por desperdicios julio L2 (parte 1).

| Giro | Tipo de desperdicio | Fecha     | Hora inicio | Hora fin | Tiempo | Descripción   |
|------|---------------------|-----------|-------------|----------|--------|---|
| P    | Defectos            | 25-jul-23 | 21:19       | 21:50    | 0,52   | ATRASO EN TORQUE PERNOS PENDIENTES TURNO ANTERIOR   |
| 1    | Defectos            | 26-jul-23 | 11:53       | 12:30    | 0,62   | FALLA LAINERA LADO DERECHO ( flexible roto se cambia )  |
| 3    | Defectos            | 27-jul-23 | 8:35        | 10:13    | 1,63   | FALLA LAINERA LADO DERECHO SE PROCEDE A LLAMAR PERSONAL TECNYSOL 8:38 EL CUAL LLEGA A LAS 9:20 (CAMBIO DE MANGUERA CILINDRO ELEVANTE)                             |
| 4    | Defectos            | 27-jul-23 | 21:30       | 23:52    | 2,37   | FALLA BRAZO IZQUIERDO DE LAINERA, SE ROMPIÓ NIPLE, LO QUE IMPIDE MONTAR EN LADO IZQUIERDO Y LIMPIAR (SE TAPONEO LA FALLA Y SE PUDO REANUDAR LIMPIEZA A LAS 22:14) |
| 5    | Defectos            | 28-jul-23 | 10:40       | 10:51    | 0,18   | FALLA LAINERA LADO DERECHO SE AJUSTAN 2 FLEXIBLES (TECNYSOL)  |
| 7    | Defectos            | 29-jul-23 | 6:55        | 7:10     | 0,25   | RETRASO EN TORQUE DE PERNO POR PROBLEMAS ELECTRÓNICOS EN LA CONEXIÓN DE LA LLAVE DE TORQUE  |
| 1    | Movimiento          | 26-jul-23 | 17:20       | 18:00    | 0,67   | MOVIMIENTO PARA POSICIONAR LA CORREA DONDE SERA CAMBIADA (PEDIDO POR MPL)   |
| 5    | Movimiento          | 28-jul-23 | 21:28       | 21:47    | 0,32   | TIEMPO MAYOR EN MONTAJE DE PULP   |
| P    | Sobre procesamiento | 26-jul-23 | 3:10        | 3:32     | 0,37   | SE INSTALAN 2 PLANCHAS  |
| 1    | Sobre procesamiento | 26-jul-23 | 14:45       | 15:36    | 0,85   | INSTALACIÓN DE 2 PLACA EN CAJON LADO DERECHO  |
| 3    | Sobre procesamiento | 27-jul-23 | 14:19       | 14:28    | 0,15   | BLOQUEO PARA RETIRO DE LAINERA (TAREA NO CONSIDERADA EN CARTA GANTT)  |
| 5    | Sobre procesamiento | 28-jul-23 | 14:47       | 14:54    | 0,12   | RETIRO DE ANDAMIO TAPA ALIMENTACION LADO DERECHO  |
| 7    | Sobre procesamiento | 29-jul-23 | 3:15        | 3:41     | 0,43   | REPASO DE TORCHADO DE PERO DE PARRILLA  |
| P    | Sobre procesamiento | 25-jul-23 | 22:00       | 22:05    | 0,08   | TORQUE DETENIDO EN LADO IZQUIERDO DE TAPA DE ALIMENTACIÓN POR FALTA DE LLAVE  |

Figura E.2: Horas por desperdicios julio L2 (parte 2).

# Anexo F

## Detalle desperdicios MM agosto L1

| Etapa           | Tipo de desperdicio | Tiempo | Descripción   |
|-----------------|---------------------|--------|---|
| Posicionamiento | Defectos            | 0,58   | SE VUELVE A GIRAR EL MOLINO PARA DETENER EN POSICION CORRECTA FILA 26.  |
| Posicionamiento | Defectos            | 0,25   | REPASO DE TORCHADO ENTRE PARRILLA Y SEMI PARRILLA PARA RETIRAR BOLA Y LIBERAR PARRILLA  |
| Posicionamiento | Defectos            | 0,50   | REPASO DE TORCHADO PARA LIBERAR PARRILLA LADO IZQUIERDO, NO SE LOGRA BOTAR Y SE PROCEDE A REALIZAR LIMPIEZA                             |
| Posicionamiento | Defectos            | 0,50   | REPASO DE TORCHADO PARA LIBERAR PARRILLA LADO IZQUIERDO   |
| Posicionamiento | Defectos            | 0,42   | REPASO DE TORCHADO PARA LIBERAR SEMIPARRILLA LADO IZQUIERDO   |
| Giro 2          | Defectos            | 0,50   | TORQUE LADO DERECHO SE TORQUEA CON LLAVE HYTOR POR QUEDAR FILA BAJO GRATING   |
| Giro 6          | Defectos            | 0,33   | SE REINGRESA A TORCHAR PARRILLA Y SEMI PARRILLA LADO DERECHO E IZQUIERDO  |
| Posicionamiento | Tiempo de espera    | 0,60   | ESPERA DE DETENCION DE MOLINO   |
| Posicionamiento | Tiempo de espera    | 0,62   | ARMADO DE ANDAMIOS EN TAPA ALIMENTACION RETRASA BOTADO  |
| Posicionamiento | Tiempo de espera    | 0,33   | RETRASO EN CAMBIO DE TURNO SEGÚN PLAN   |
| Posicionamiento | Tiempo de espera    | 1,02   | DEMORA EN GIRO DEBIDO A: DIFICULTAD EN APERTURA DE FRENO, DEMORA EN CARGA DE ACUMULADOR DE LUBRICACIÓN, ALZA EN TEMPERATURA DE AGUA CCV |
| Giro 1          | Tiempo de espera    | 0,83   | EXCESO DE TIEMPO EN BOTADO DE SEMIPARRILLAS   |
| Giro 1          | Tiempo de espera    | 0,35   | EXCESO DE TIEMPO EN BOTADO DE SEMIPARRILLA IZQUIERDA  |
| Giro 2          | Tiempo de espera    | 0,33   | TORQUE MAQUINA LADO IZQUIERDO ESTAN ARROJANDO FALLA POR TEMPERATURA POR ENDE SE TIENE QUE ENFRIAR PARA SEGUIR                           |
| Giro 2          | Tiempo de espera    | 1,33   | FALLA DE COMPRESORES DE AIRE POR LADO IZQUIERDO   |
| Giro 2          | Tiempo de espera    | 0,28   | FALLA DE COMPRESORES DE AIRE POR LADO DERECHO   |
| Giro 4          | Tiempo de espera    | 0,25   | EXCESO DE TIEMPO EN BOTADO DE PARRILLA Y SEMIPARRILLA DE LADO IZQUIERDO (NO SE PUDO RETIRAR)  |
| Giro 4          | Tiempo de espera    | 0,15   | EXCESO DE TIEMPO EN BOTADO DE PARRILLA Y SEMIPARRILLA DE LADO IZQUIERDO (SE PUDO RETIRAR)   |
| Giro 4          | Tiempo de espera    | 0,50   | PROBLEMA PARA REALIZAR MONTAJE DE MEGALINER DE LA EMPRESA ELECMETAL (LADO IZQUIERDO)  |
| Giro 4          | Tiempo de espera    | 0,92   | PROBLEMA PARA REALIZAR MONTAJE DE MEGALINER DE LA EMPRESA METSO (LADO DERECHO)  |
| Giro 7          | Tiempo de espera    | 1,08   | RETRASO EN POSICIONAMIENTO EN GIRO 7 DE MOLINO  |

Figura F.1: Horas por desperdicios agosto L1.

# Anexo G

## Detalle desperdicios MM septiembre L3

| Etapa  | Tipo de desperdicio | Tiempo | Descripción  |
|--------|---------------------|--------|--|
| GIRO1  | Tiempo de espera    | 0,58   | DESBLOQUEO PERSONAL MTTO (MILLS, FLS, PROCLEAN, PROTORQ, METSO)  |
| GIRO 7 | Tiempo de espera    | 0,27   | ESPERA DESBLOQUEO PERSONAL AICA  |
| GIRO1  | Defecto             | 1,40   | PROBLEMAS COMANDO EN PARTIR (MOLINO NO GIRA)   |
| GIRO 2 | Defecto             | 1,38   | TM PROBLEMA CON LAS BOMBAS DE ALTA   |
| GIRO 3 | Defecto             | 0,93   | TM A ESPERA DE CONDICIÓN PARA GIRO (NO PERMITE CONDICIÓN DE GIRO DEBIDO A UNA FALLA ELÉCTRICA, DEBIDO A CORTOCIRCUITO EN CARGADOR DE BATERÍAS) |
| GIRO 3 | Defecto             | 0,08   | TM PERMISIVO (FALLA BOBINA CONTACTOR CARGADOR DE BATERÍA + FUSIBLE EXCITACIÓN)   |
| GIRO 3 | Defecto             | 0,12   | GIRO (MAL POSICIONADO) 25P   |
| GIRO 3 | Defecto             | 0,33   | REAPRETE DE MANGUERAS Y CONECTORES DEL CABEZAL DE MÁQUINA LAINERA LADO DERECHO 360 ANTES DE INGRESAR)  |
| GIRO 3 | Defecto             | 0,75   | TMI CORTE DE NIPLE EN MÁQUINA LAINERA  |
| GIRO 4 | Defecto             | 0,53   | TMI FALLA SISTEMA HIDRÁULICO PARA REALIZAR GIRO  |
| GIRO 6 | Defecto             | 0,30   | GIRO 6 (MAL POSICIONADO)   |
| GIRO 6 | Defecto             | 0,08   | GIRO 6 (MAL POSICIONADO)   |
| GIRO 8 | Defecto             | 0,72   | ESPERA DE GIRO (NO DA CONDICIÓN BOMBA DE ALTA)   |
| GIRO 9 | Defecto             | 0,05   | GIRO 9 (MAL POSICIONADO)   |

Figura G.1: Horas por desperdicios septiembre L3.

# Anexo H

## Equipos extremadamente críticos área molienda

| 3º Nivel                           | 5º Nivel                                 | Equipo | Evento                     | Producción | Seguridad y Salud Ocupacional | Medio Ambiente | Comunidades | Legal | Reputación | [P] PROBABILIDAD<br>[I] IMPACTO | CRITICIDAD<br>(Evaluación 2022) | CRITICIDAD<br>(Evaluación 2020) | CRITICIDAD<br>(Valor actual SAPI) |         |
|------------------------------------|--|--------|----------------------------|------------|-------------------------------|----------------|-------------|-------|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Proceso Molienda                   | MOLINO BOLAS NUEVE 26 X 40.5 LINEA NRO.3 | 18428  | Falla catastrófica shell   | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Alto                              | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino Bolas 4 Línea N1                  | 18423  | Falla catastrófica shell   | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Alto                              | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino Bolas 5 Línea N1                  | 18424  | Falla catastrófica shell   | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Alto                              | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino Bolas 6 Línea N2                  | 18425  | Falla catastrófica shell   | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Alto                              | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino Bolas 7 Línea N2                  | 18426  | Falla catastrófica shell   | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Alto                              | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino Bolas 8 Línea N3                  | 18427  | Falla catastrófica shell   | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Alto                              | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino SAG Línea 1 MI001                 | 18509  | Falla rotor / estator      | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino SAG Línea 2 MI002                 | 18512  | Falla rotor / estator      | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino SAG Línea 3 MI704                 | 18523  | Falla rotor / estator      | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino Bolas Línea 4 ML5002              | 39113  | Falla rotor / estator      | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | No evaluado                       | Extremo |
| Proceso Molienda                   | Molino SAG Línea 4 ML5001                | 39115  | Falla rotor / estator      | 5          | 1                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | No evaluado                       | Extremo |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica 3                         | 38234  | Incendio en sala eléctrica | 5          | 3                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | No evaluado                       | Medio   |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica 3B                        | 38235  | Incendio en sala eléctrica | 5          | 3                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | No evaluado                       | Medio   |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica 4                         | 38236  | Incendio en sala eléctrica | 5          | 3                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | No evaluado                       | Medio   |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica ER301                     | 18411  | Incendio sala eléctrica    | 5          | 4                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica N2 Er002                  | 18408  | Incendio sala eléctrica    | 5          | 4                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica N2 Er003                  | 18409  | Incendio sala eléctrica    | 5          | 4                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica N2 Er004                  | 18410  | Incendio sala eléctrica    | 5          | 4                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica N2B Er002                 | 18412  | Incendio sala eléctrica    | 5          | 4                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |
| Salas Eléctricas y Transformadores | Sala Eléctrica Prens M.Bolas MI703Er     | 18522  | Incendio sala eléctrica    | 5          | 3                             | 1              | 1           | 1     | 1          | 5                               | 3                               | Extremo                         | Extremo                           | Extremo |

Figura H.1: Equipos críticos área molienda (Pelambres, 2023).

# Anexo I

## Estándar General

**DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO**

Llegar a la excelencia cada vez que se realice un cambio de revestimiento molino SAG.

**DURACIÓN**

85 [hr]

**EPP 'S**



**¡Importante!** Antes de comenzar cada trabajo, se deben completar los documentos de seguridad para verificar que no existan condiciones anormales y completar las ART (Análisis de Riesgo de la Tarea).

**ESTRATEGIAS DE CONTROL SSO**




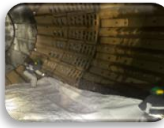

|                                 |                                   |                           |                            |                          |                       |                        |  |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|--|
|                                 |                                   |                           |                            |                          |                       |                        |  |
| Trabajos en espacios confinados | Interacción con energía eléctrica | Trabajo en altura         | Interacción partes móviles | Humos y polvos metálicos | Prevención hipoacusia | Energía neumática      | Interacción con energía hidráulica             |
|                                 |                                   |                           |                            |                          |                       |                        |  |
| Manejo manual de carga          | Operaciones de izaje              | Operación equipos pesados | Prevención silicosis       | Operación de estructuras | Soluciones peligrosas | Manejo de combustibles | Traslados de materiales, objetos y vuelos dron |

**EJECUTOR (ES)**

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>SUPERINTENDENCIA (S) RESPONSABLE (S)</b> | MANTENIMIENTO EJECUCIÓN     |
| <b>DOTACIÓN</b>                             | 16 MECÁNICOS                |
|   | 2 TORCHADORES               |
|   | 4 ARMADORES                 |
|   | 1 SUPERVISOR                |
|   | 1 ELECTRICISTA              |
|   | 2 LORO VIVO                 |
|   | 1 OPERADOR LAINERA          |
|   | 1 VIGÍA ESPACIO CONFINADO   |
|   | 1 OPERADOR GRÚA HORQUILLA   |
|   | 2 OXIGENISTAS               |
|   | 2 SEÑALEROS                 |
|   | 16 ANDAMIEROS (8 POR TURNO) |
|   | 1 SUPERVISOR DE ANDAMIOS    |
|   | 1 SUPERVISOR DE TORQUE      |
| 1 CONTROLADOR DE PROCESOS                   |                             |

EMPRESAS CONTRATISTAS (PROCLEAN, ELECMETAL, PROTORQ)



| EQUIPO, HERRAMIENTAS ESPECIALES Y CONSUMIBLES REQUERIDOS |          |                    |                        |       |
|--|----------|--------------------|------------------------|-------|
| MAQUINARIA/<br>HERRAMIENTAS/<br>INSUMOS                  | CANTIDAD | CALIBRACIÓN        | DISPONIBILIDAD (✓ o X) | FECHA |
| Llave neumática 5980                                     | 6        |                    |                        |       |
| Llave de torque revo 8000                                | 6        | 4800 [lb-f]        |                        |       |
| Martillo neumático MX90                                  | 6        |                    |                        |       |
| Eslinga de cadenas 2 ramales por 10 [mm]                 | 4        |                    |                        |       |
| Puntas de martillo                                       | 6        |                    |                        |       |
| Dados cuadrantes de 1 ½" x 80 [mm]                       | 6        |                    |                        |       |
| Botadores  | 6        |                    |                        |       |
| Equipo de oxicorte                                       | 4        |                    |                        |       |
| Equipo de torch  | 4        |                    |                        |       |
| Macetas  | 6        |                    |                        |       |
| Barillas de torch (cajas)                                | 10       |                    |                        |       |
| Carpas contención de bolas                               | 6        |                    |                        |       |
| Espátulas  |          |                    |                        |       |
| Mangueras neumáticas ¾"                                  | 18       |                    |                        |       |
| Uñetas   | 8        |                    |                        |       |
| Arnés de seguridad                                       | 35       |                    |                        |       |
| Colas tipo "Y"   | 35       |                    |                        |       |
| Arnés ignífugo   | 6        |                    |                        |       |
| Colas de acero   | 12       |                    |                        |       |
| Martillo Thunderbolt                                     | 2        |                    |                        |       |
| Compresor  | 2        |                    |                        |       |
| Grúa horquilla   | 2        | 3.5 [ton]/ 5 [ton] |                        |       |
| Generadores  | 2        |                    |                        |       |
| Máquina criogénica                                       | 1        |                    |                        |       |
| Hielo  |          |                    |                        |       |
| Oxígenos   | 5        |                    |                        |       |
| Rack de oxígenos   | 4        |                    |                        |       |
| Acetilenos   | 5        |                    |                        |       |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>1. Realizar documentación</b><br/>0,5 [hr]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Confeccionar documentación</li> <li>✓ Permisos de trabajo específicos.</li> <li>✓ Permiso ingreso al área (PIA).</li> <li>✓ Realizar Charlas inicio de trabajos</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Trabajadores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Firmar documentación confección de checklist de herramientas y equipos</li> </ul> </li> </ul>   | <p><b>3. Retiro de chute móvil</b><br/>0,5 [hr]</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro protecciones de forma simultánea</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos exteriores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de andamios y herramientas</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> Cierre de compuerta alimentación</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear nivel de carga y lavado operacional</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Medición del faro</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> EL nivel de llenado de carga del molino debe ser un 23%</li> </ul> </div> </div>   |
| <p><b>2. Bloqueo molino SAG</b><br/>0,25 [hr]</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> </div> </div> | <p><b>4. Inspección molino</b><br/>0,5 [hr]</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;">    </div> <div style="flex: 2;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Inspección visual interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lavado interno del molino</li> <li>✓ Instalación carpa contención de bolas</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Elecmetal:</b> Medición de faro</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Inspeccionar después del lavado si existe material entre revestimiento</li> </ul> </div> </div> |

| 5. Posicionamiento lainera |   |
|----------------------------|---|
| 0,8 [hr]                   |   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador lainera:</b><br/>Operar y posicionar máquina lainera Russel two 8</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Apoyar movimientos para el traslado de maquina lainera, instalar pasadores de anclajes de máquina Lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamieros:</b><br/>Armado de andamio</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Instalación barrera dura según Layout</li> </ul> |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |
|--|--|

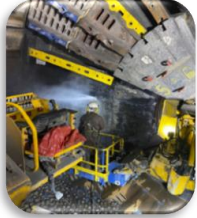
| 6. Torchado posicionamiento |   |
|-----------------------------|---|
| 2 [hr]                      |   |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar carro sobre lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar y posicionar canastillo para proceso de torchado</li> <li><input type="checkbox"/> Instalación de extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> </ul> |






| 7. Botado de revestimiento posicionamiento  |  |
|---|--|
| 2 [hr]  |  |
| <br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> Botados pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el botado del revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |

| 8. Retiro de coraza interior molino  |  |
|--|--|
| 1 [hr]   |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b><br/>Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |
|--|---|

| 9. Trabajo exterior molino |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>1 [hr]</b>   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Limpieza mecánica y criogénica</li> <li><input type="checkbox"/> Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li><input type="checkbox"/> Limpieza de alojamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 10. Lavado interior molino  |   |
|---|---|
|   | <b>0,5 [hr]</b>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |

| 11. Montaje revestimiento  |  |
|--|--|
|  | <b>2 [hr]</b>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de</li> </ul> |
|    |  |
|    |  |
|   |  |
|  |  |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>perforaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |
|--|---|

|  |                    |
|--|--------------------|
|  | para recalibración |
|--|--------------------|

| 13. Desbloqueo giro n° 1 |  |
|--------------------------|--|
| 0,25 [hr]                |  |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

| 12. Torque   |  |
|--|--|
| 0,7 [hr]   |  |
| <br><br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Tensión:</b> 160.000 [lb-f]</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Torque:</b> App 5.500 [lb/ft]</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas</li> </ul> |

| 14. Giro n° 1 |  |
|---------------|--|
| 0,25 [hr]     |  |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 15. | Bloqueo giro n° 1  | 0,5 [hr] |
|-----|--|----------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |          |

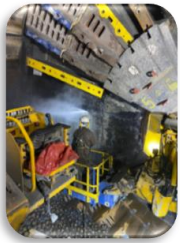
| 16. | Torchado giro n° 1  | 1 [hr] |
|-----|---|--------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Dejar un perno de seguridad</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> </ul> |        |

| 17.  | Botado de revestimiento giro n° 1   | 2 [hr] |
|--|---|--------|
| <br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Ninguna pieza del andamio debe interferir en el botado del revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |        |

| 18. | Retiro de coraza interior molino   | 1 [hr] |
|-----|--|--------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b><br/>Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar</li> </ul> |        |

|  |  |
|--|--|
|  | revestimientos desde carro porta coraza<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad |
|--|--|

| 19. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
|                             | 1 [hr]   |
|                             | <input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b><br><input checked="" type="checkbox"/> Limpieza mecánica y criogénica<br><input checked="" type="checkbox"/> Instalación de camisas en alojamientos desbocados<br><input checked="" type="checkbox"/> Limpieza de alojamientos<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino” |


| 20. Lavado interior molino  |   |
|---|---|
|   | 0,5 [hr]  |
|  | <input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b> Chequeo de backing<br><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado |

| 21. Montaje revestimiento |  |
|---------------------------|--|
|                           | 2 [hr]   |
|                           | <input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar revestimiento en carro porta coraza<br><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino<br><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza<br><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción<br><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de perforaciones<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón<br><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa |

| 22. Torque   |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |

| 23. Desbloqueo giro n° 1 |  |
|--------------------------|--|
| 0,25 [hr]                |  |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

| 24. Giro n° 2 |  |
|---------------|--|
| 0,5 [hr]      |  |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 25. Bloqueo molino SAG   |  |
|--|--|
| 0,25 [hr]  |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |


| 26. Torchado giro n° 2 |  |
|------------------------|--|
| 1 [hr]                 |  |
|                        | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |



|  |   |
|--|---|
|  | <p>botado del revestimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |
|--|---|

| 27. Botado de revestimiento giro n° 2   |   |
|---|---|
| 0,5 [hr]  |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el</li> </ul> |

| 28. Retiro de corazas interior molino |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 [hr]                                |   |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |

| 29. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 30.   | Lavado interior molino   | 0,5 [hr]   |     |                       |        |
|---|--|--|-----|-----------------------|--------|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b><br/>Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa</b><br/>Proclean: Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul>  | <th data-bbox="855 296 914 348">31.</th> <th data-bbox="914 296 1404 348">Montaje revestimiento</th> <th data-bbox="1328 296 1404 348">2 [hr]</th> | 31. | Montaje revestimiento | 2 [hr] |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |  |     |                       |        |

| 32. Torque  |   |
|---|---|
|   | 0,5 [hr]  |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |


| 33. Desbloqueo giro n° 2 |  |
|--------------------------|--|
|                          | 0,5 [hr]   |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

| 34. Giro n° 3 |   |
|---------------|---|
|               | 0,25 [hr]   |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 35. Bloqueo giro n° 3 |  |
|-----------------------|--|
|                       | 0,5 [hr]   |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |


| 36. Torchado giro n° 3 |   |
|------------------------|---|
| 1 [hr]                 |   |
|                        | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>botado del revestimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |
|--|---|

| 37. Botado de revestimiento giro n° 3  |   |
|--|---|
| 2 [hr]   |   |
| <br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el</li> </ul> |

| 38. Retiro de corazas interior molino |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 [hr]                                |   |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b><br/>Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |

| 39. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b></li> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 40.   | Lavado interior molino<br>0,5 [hr]  |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b><br/>Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa</b><br/>Proclean: Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |


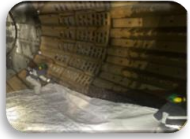

| 41. | Montaje revestimiento<br>2 [hr]  |
|-----|--|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |

| 42. Torque   |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li>❑ <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |

| 43. Desbloqueo giro n° 3 |  |
|--------------------------|--|
| 0,25 [hr]                |  |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

| 44. Giro n° 4 |   |
|---------------|---|
| 0,5 [hr]      |   |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li>❑ <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 45. Bloqueo giro n° 4 |  |
|-----------------------|--|
| 0,25 [hr]             |  |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Supervisor:</b> Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li>❑ <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li>❑ <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |

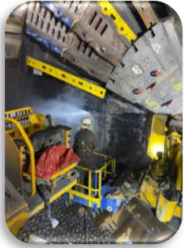
| 46. Torchado giro n° 4  |   |
|---|---|
| 1 [hr]  |   |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>botado del revestimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |
|--|---|

| 47. Botado de revestimiento giro n° 4   |   |
|---|---|
| 2 [hr]  |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el</li> </ul> |

| 48. Retiro de corazas interior molino |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 [hr]                                |   |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b><br/>Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |

| 49. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b></li> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 50.   | Lavado interior molino<br>0,5 [hr]  |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b><br/>Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |

| 51. | Montaje revestimiento<br>2 [hr]  |
|-----|--|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |

| 52. Torque  |   |
|---|---|
|   | 0,5 [hr]  |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |


| 53. Desbloqueo giro n° 4 |  |
|--------------------------|--|
|                          | 0,25 [hr]  |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

| 54. Giro n° 5 |  |
|---------------|--|
|               | 0,5 [hr]   |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 55. Bloqueo giro n° 5 |  |
|-----------------------|--|
|                       | 0,25 [hr]  |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |

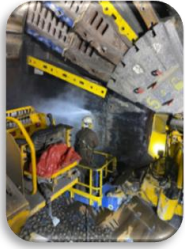
| 56. Torchado giro n° 5 |  |
|------------------------|--|
| 1 [hr]                 |  |
|                        | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>botado del revestimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |
|--|---|

| 57. Botado de revestimiento giro n° 5  |   |
|--|---|
| 2 [hr]   |   |
| <br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el</li> </ul> |



| 58. Retiro de corazas interior molino |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 [hr]                                |   |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b><br/>Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |

| 59. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 60.   | Lavado interior molino  | 0,5 [hr] |
|---|---|----------|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b><br/>Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |          |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |
|--|--|

| 61. | Montaje revestimiento   | 2 [hr] |
|-----|---|--------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Mantener buena</li> </ul> |        |

| 62. Torque  |   |
|---|---|
|   | 0,5 [hr]  |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |

| 63. Desbloqueo giro n° 5 |  |
|--------------------------|--|
|                          | 0,25 [hr]  |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

| 64. Giro n° 6 |  |
|---------------|--|
|               | 0,5 [hr]   |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 65. Bloqueo giro n° 6 |  |
|-----------------------|--|
|                       | 0,25 [hr]  |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |


| 66. Torchado giro n° 6 |   |
|------------------------|---|
| 1 [hr]                 |   |
|                        | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>botado del revestimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |
|--|---|

| 67. Botado de revestimiento giro n° 6  |   |
|--|---|
| 2 [hr]   |   |
| <br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el</li> </ul> |

| 68. Retiro de corazas interior molino |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 [hr]                                |   |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b><br/>Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |

| 69. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 70. Lavado interior molino  |   |
|---|---|
| 0,5 [hr]  |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b><br/>Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de <u>grasa</u></li> </ul> |
|--|---|

| 71. Montaje revestimiento |  |
|---------------------------|--|
| 2 [hr]                    |  |
|                           | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/><b>Mantener buena</b></li> </ul> |

| 72. Torque   |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
| <br><br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> </ul> |



|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |
|--|--|

|            |  |                  |
|------------|--|------------------|
| <b>73.</b> | <b>Desbloqueo giro n° 6</b>  | <b>0,25 [hr]</b> |
|            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |                  |

|            |  |                 |
|------------|--|-----------------|
| <b>74.</b> | <b>Giro n° 7</b>   | <b>0,5 [hr]</b> |
|            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b> Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |                 |


|            |  |                  |
|------------|--|------------------|
| <b>75.</b> | <b>Bloqueo giro n° 7</b>   | <b>0,25 [hr]</b> |
|            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |                  |

|            |   |               |
|------------|---|---------------|
| <b>76.</b> | <b>Torchado giro n° 7</b>   | <b>1 [hr]</b> |
|            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b> Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |               |

| 77. Botado de revestimiento giro n° 7  |   |
|--|---|
| 2 [hr]   |   |
| <br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el botado del revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |
|--|---|

| 79. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b></li> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 80. Lavado interior molino   |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Supervisor torque + Protorg: Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> Empresa Proclean: Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |

| 78. Retiro de corazas interior molino |  |
|---------------------------------------|--|
| 1 [hr]                                |  |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> </ul> |

| 81. Montaje revestimiento |  |
|---------------------------|--|
| 2 [hr]                    |  |
|                           | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |

| 82. Torque   |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |



| 83. Desbloqueo giro n° 7 |  |
|--------------------------|--|
| 0,25 [hr]                |  |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales |
|--|---|

| 84. Giro n° 8 |  |
|---------------|--|
| 0,5 [hr]      |  |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b></li> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b><br/>Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 86. Torchado giro n° 8 |   |
|------------------------|---|
| 1 [hr]                 |   |
|                        | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |


| 85. Bloqueo giro n° 8 |  |
|-----------------------|--|
| 0,25 [hr]             |  |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el</li> </ul> |

| 87. Botado de revestimiento giro n° 8   | 2 [hr]  |
|---|---|
| <br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el botado del revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |

| 88. Retiro de corazas interior molino | 1 [hr]  |
|---------------------------------------|---|
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>desde carro porta coraza</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |
|--|---|

| 89. Trabajo exterior molino | 1 [hr]   |
|-----------------------------|--|
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b></li> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 90. Lavado interior molino   | 0,5 [hr]  |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b> Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |

| 91. Montaje revestimiento |  |
|---------------------------|--|
| 2 [hr]                    |  |
|                           | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |



| 92. Torque   |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiere:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |

| 93. | Desbloqueo giro n° 8   | 0,25 [hr] |
|-----|--|-----------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |           |

| 95. | Bloqueo giro n° 9  | 0,25 [hr] |
|-----|--|-----------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |           |

| 94. | Giro n° 9  | 0,5 [hr] |
|-----|--|----------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b><br/>Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |          |


| 96. | Torchado giro n° 9  | 1 [hr] |
|-----|---|--------|
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigía espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |        |

| 97. Botado de revestimiento giro n° 9  |   |
|--|---|
| 2 [hr]   |   |
| <br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el botado del revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |



| 98. Retiro de corazas interior molino |  |
|---------------------------------------|--|
| 1 [hr]                                |  |
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos desde carro porta coraza</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |
|--|---|

| 99. Trabajo exterior molino |  |
|-----------------------------|--|
| 1 [hr]                      |  |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b></li> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 100. Lavado interior molino  |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorg:</b> Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |

| 101. Montaje revestimiento |  |
|----------------------------|--|
|                            | 2 [hr]   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |

| 102. Torque   |   |
|---|---|
|   | 0,5 [hr]  |
| <br><br><br><br><br><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiere:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |



| 103. Desbloqueo giro n° 9 |  |
|---------------------------|--|
| 0,25 [hr]                 |  |
|                           | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Asegurar que todos los trabajadores implicados en la tarea desbloqueen</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> A medida que se terminan las labores, el personal puede desbloquear</li> </ul> |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todo personal involucrado en el trabajo, debe bloquear con candados y tarjetas personales</li> </ul> |
|--|--|

| 104. Giro n° 10 |  |
|-----------------|--|
| 0,5 [hr]        |  |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coordinar con operador giro lento para posicionamiento correcto del molino</li> <li>✓ Dar visto bueno del giro para proceder a bloqueo</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Líder mecánico:</b><br/>Revisar posición del giro para seguir con el correcto montaje de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Chequear energía cero por parte del supervisor</li> </ul> |

| 106. Torchado giro n° 10 |   |
|--------------------------|---|
| 1 [hr]                   |   |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b><br/>Posicionar extractor de aire, extintores y red húmeda</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Vigia espacio confinado:</b><br/>Medición de gases</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico exterior:</b> Retiro de tuercas utilizando llave neumática 5980</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Uso de EPP para trabajo en caliente (máscara, respirador con filtro)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b><br/>Dejar un perno de seguridad</li> </ul> |


| 105. Bloqueo giro n° 10 |  |
|-------------------------|--|
| 0,25 [hr]               |  |
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor:</b><br/>Chequear energía cero vía radial a sala de operaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Eléctrico:</b> Bloqueo eléctrico</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Bloqueo mecánico</li> </ul> |

| 107. Botado de revestimiento giro n° 10  |   |
|--|---|
| 2 [hr]   |   |
| <br> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Retiro personal interior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Botado pernos con martillo Thunderbolt y neumático MEX 90</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En lugares donde no se pueda botar con martillo neumático, proceder a botar con maceta</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En caso del que el revestimiento no caiga, proceder a retirar tapón y golpear en esa posición</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Ninguna pieza del andamio debe interferir en el botado del revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> En simultáneo, señalero prepara revestimiento a montar al interior de nave</li> </ul> |





|  |   |
|--|---|
|  | <p>desde carro porta coraza</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Al realizar maniobra de estrobar, personal debe encontrarse en zona de seguridad</li> </ul> |
|--|---|

| 109. Trabajo exterior molino |  |
|------------------------------|--|
| 1 [hr]                       |  |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpieza mecánica y criogénica</li> <li>✓ Instalación de camisas en alojamientos desbocados</li> <li>✓ Limpieza de alojamientos</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Esta actividad se realiza en paralelo a “Retiro de coraza interior molino”</li> </ul> |

| 108. Retiro de corazas interior molino |   |
|--|---|
| 1 [hr]                                 |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Posicionar eslinga de cadena en orificio revestimiento y enganchar cadena a máquina lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Retiro del revestimiento con apoyo de lainera</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Retirar revestimientos</li> </ul> |

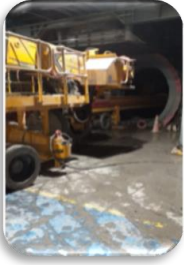
| 110. Lavado interior molino  |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor torque + Protorq:</b> Chequeo de backing</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Empresa Proclean:</b> Lavado alta presión</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Instalar tapones en alimentación para no mojar estator, en caso de ser necesario</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Posicionar canastillos para apoyar a operador que realiza el lavado</li> </ul> |


| 111. Montaje revestimiento |  |
|----------------------------|--|
| 2 [hr]                     |  |
|                            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Posicionar revestimiento en carro porta coraza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador de carro:</b> Transportar pieza al interior del molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Lainero:</b> Tomar revestimiento y posicionar pieza</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> una vez posicionada la pieza, alinear revestimiento e instalar pernos de sujeción</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánico:</b> Aplicar protocolo instalación de pernos (limpieza, engrase, instalación golilla y tuerca, acercamiento con llave neumática)</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Mantener buena comunicación entre armador interior molino y mecánico exterior molino</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de perforaciones</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los pernos deben ingresar con protección de cartón</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Chequear limpieza de pernos y correcta aplicación de grasa</li> </ul> |



| 112. Torque  |   |
|--|---|
| 0,5 [hr]   |   |
|     | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Andamiero:</b> Retiro de acercamientos</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Supervisor de torque:</b> Previo al montaje, asegura que la llave de torque controlado se encuentre calibrada a tensión propuesta por el proveedor de revestimiento</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Después de aplicar el torque controlado a cada perno, se debe aplicar una capa de pintura para marcar visualmente que el perno ha sido correctamente ajustado</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Una vez terminado el giro, llevar llaves de torque al banco de pruebas para recalibración</li> </ul> |


| 113. Limpieza de elementos interior molino |   |
|--|---|
| 0,25 [hr]                                  |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Armador:</b> Acopiar los elementos en desuso interior molino en un cajón, y sacarlo en el carro.</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa Horquilla:</b> Retirar el cajón y dejarlo</li> </ul> |

|  |                          |
|--|--------------------------|
|  | en el sector de chatarra |
|--|--------------------------|

|   |  |
|---|--|
| 114.  | Retiro de laineras   |
|   | 0,5 [hr]   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Operador:</b> Comenzar a retirar ambas laineras desde el interior del molino.</li> <li>❑ <b>Armador:</b> Apoya en los movimientos como señalero, y quita los tensores de la máquina.</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> Para realizar movimientos de lainera, el área debe estar segregada en 360 [°]</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
| 116.   | Instalación de chute  |
|  | 0,5 [hr]  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Operador:</b> Posiciona el chute en frente de la boca del molino, para posteriormente instalarlo.</li> <li>❑ <b>Armador:</b> Apoya en los movimientos como señalero.</li> <li>❑ <b>Punto clave:</b> Una vez posicionado el chute en frente del molino, se procede a cerrar la compuerta de alimentación del molino, para después instalar el chute</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
| 115.   | Posicionamiento de laineras en estacionamiento  |
|  | 0,5 [hr]  |
| <br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Operador lainera:</b> Dejar laineras en un lugar donde no interrumpa el libre tránsito.</li> <li>❑ <b>Armador:</b> Apoya en los movimientos como señalero, y desconexiones eléctricas de la lainera.</li> </ul> |

|  |  |
|--|--|
| 117.   | Instalación de protecciones  |
|  | 0,5 [hr]   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Mecánico:</b> Instalar las protecciones en 360 [°] de todo el molino, una vez terminado se le da aviso al supervisor.</li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
| <b>118. Orden de repuestos y de callejón molienda</b> |   |
| 1 [hr]  |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Operador grúa horquilla:</b> Realiza el ordenamiento de todos los repuestos salientes del molino.</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Señalero:</b> Dirige al operador con el ordenamiento y se preocupa de destinar el lugar a todos los repuestos sobrantes, chatarra, revestimientos que se llevan a análisis, etc.</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Bodeguero:</b> Realizar el conteo de las herramientas devueltas, y hace listado con las herramientas que aún faltan por devolver.</li> </ul> |
|--|---|

|  |  |
|--|--|
| <b>119. Ordenamiento de herramientas</b> |  |
| 1 [hr]                                   |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Ordenar las posturas de trabajo, llevan todas las herramientas al camión bodega.</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Oxigenistas:</b> Retirar los cilindros de gases y desarmar los equipos de oxicorte.</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
| <b>121. Limpieza de área y segregación de residuos</b> |   |
| 1 [hr]   |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> Todos los trabajadores contribuyen con la limpieza del área, dejando las posturas ordenadas, retirando herramientas, cilindro de gases, botellas, segregaciones, etc.</li> <li><input type="checkbox"/> <b>Punto clave:</b> También se deben retirar los elementos del piso inferior del molino.</li> </ul> |

|  |  |
|--|--|
| <b>120. Ordenamiento de herramientas en camión</b> |  |
| 1 [hr]   |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Mecánicos:</b> Apoyar al bodeguero con el ordenamiento de herramientas dentro del camión bodega.</li> </ul> |

# Anexo J

## Estándar Por Rol: Mecánico

ROL Mecánico

**DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO**

Cambio de revestimiento Molino SAG

**DURACIÓN**

85 [hr]

**EPP ´S**



**¡Importante!** Antes de comenzar cada trabajo, debe completar los documentos de seguridad para verificar que no existan condiciones anormales y **completar las ART (Análisis de Riesgo de la Tarea)**.

**ESTRATEGIAS DE CONTROL SSO**

|  |                       |                       |                           |                                 |                                    |                        |                                   |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
|  |                       |                       |                           |                                 |                                    |                        |                                   |
| Traslados de materiales, objetos y vuelos dron | Operaciones de izaje  | Prevención hipoacusia | Operación equipos pesados | Trabajos en espacios confinados | Interacción con energía hidráulica | Energía neumática      | Interacción con energía eléctrica |
|  |                       |                       |                           |                                 |                                    |                        |                                   |
| Interacción partes móviles                     | Soluciones peligrosas | Prevención silicosis  | Manejo manual de carga    | Trabajo en altura               | Humos y polvos metálicos           | Manejo de combustibles |                                   |

**EPP ADICIONAL REQUERIDO (POR ENCIMA DEL EPP ESTÁNDAR)**

Careta de malla Peltor, chaqueta de cuero




**RECURSOS, COMPETENCIAS ESPECÍFICAS, CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES REQUERIDAS**

Se requiere que el mecánico encargado de los cambios de revestimientos en molinos cuente con experiencia en este campo, conozca a fondo las herramientas utilizadas y esté consciente de los riesgos a los que se enfrentan los trabajadores en cada uno de los diversos procesos involucrados. De esta manera, se asegurará la seguridad de todo el personal implicado.



**EQUIPO, HERRAMIENTAS ESPECIALES Y CONSUMIBLES REQUERIDOS**






| TIPO DE RECURSO | DESCRIPCIÓN DEL RECURSO              | CANTIDAD |
|-----------------|--------------------------------------|----------|
| Consumible      | Tuercas                              | 1000     |
| Consumible      | Golillas                             | 1000     |
| Equipo          | Radio comunicador frecuencia interna | 4        |
| Herramienta     | Llave de impacto 5980                | 4        |
| Herramienta     | Martillo Neumático MX90              | 4        |
| Herramienta     | Llave de torque electrónica          | 3        |
| Herramienta     | Maceta                               | 6        |




|             |                              |   |
|-------------|------------------------------|---|
| Herramienta | Barretillas con mango        | 4 |
| Herramienta | Escobilla de acero (chascón) | 5 |
| Herramienta | Mangueras de aire            | 8 |
| Equipo      | Compresor                    | 2 |
| Equipo      | Manifold de aire             | 2 |





| N° DE ACT.   | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO)   | PUNTOS CLAVES           | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES)                         |  |  |   |  |
|--|--|-------------------------|------------------------------|--|--|--|---|--|
| <b>ACTIVIDADES PREVIAS</b>   |  |                         |                              |  |  |  |   |  |
| 1.   | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>0,5 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Firmar documentación y solicitar firma a supervisor en caso de ser necesario</td> </tr> </table> | <b>Tiempo actividad</b> | 0,5 [hr]                     | Firmar documentación y solicitar firma a supervisor en caso de ser necesario |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Llegada a las 7:30 am, firma de documentación</li> </ul>  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Carpetas de terreno con toda la documentación.</li> </ul>   |
| <b>Tiempo actividad</b>  | 0,5 [hr]   |                         |                              |  |  |  |   |  |
| Firmar documentación y solicitar firma a supervisor en caso de ser necesario |  |                         |                              |  |  |  |   |  |
| 2.   | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>0,25 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Bloquear equipo</td> </tr> </table>   | <b>Tiempo actividad</b> | 0,25 [hr]                    | Bloquear equipo  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Una vez que Supervisor realiza el bloqueo del equipo, personal mecánico bloquea equipo a intervenir</li> </ul>  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Candado y tarjeta personal, e intransferible.</li> </ul>  |
| <b>Tiempo actividad</b>  | 0,25 [hr]  |                         |                              |  |  |  |   |  |
| Bloquear equipo  |  |                         |                              |  |  |  |   |  |
| 3.   | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>0,5 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Inspección de equipos y herramientas a utilizar.</td> </tr> </table>                             | <b>Tiempo actividad</b> | 0,5 [hr]                     | Inspección de equipos y herramientas a utilizar.                             |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar inspección visual y pruebas en vacío de equipos de oxicorte, herramientas manuales, neumáticas y eléctricas</li> </ul>                                 |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Todas las herramientas deben ser previamente chequeadas.</li> </ul>                                 |
| <b>Tiempo actividad</b>  | 0,5 [hr]   |                         |                              |  |  |  |   |  |
| Inspección de equipos y herramientas a utilizar.                             |  |                         |                              |  |  |  |   |  |
| 4.   | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>0,5 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Retiro de protecciones.</td> </tr> </table>  | <b>Tiempo actividad</b> | 0,5 [hr]                     | Retiro de protecciones.  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Retirar protecciones laterales en tapa descarga, cilindro y tapa alimentación. Éstas deben quedar acopiadas y amarradas a una altura máxima de 50cm.</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Las protecciones deben ser acopiadas en un lugar donde no interrumpan el libre tránsito.</li> </ul> |
| <b>Tiempo actividad</b>  | 0,5 [hr]   |                         |                              |  |  |  |   |  |
| Retiro de protecciones.  |  |                         |                              |  |  |  |   |  |


| N° DE ACT.      | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO) |           | PUNTOS CLAVES  | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES)  |
|-----------------|--------------------------------------|-----------|--|------------------------------|---|
| 5.              | Tiempo actividad                     | 1,2 [hr]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Trasladar herramientas a cada postura de trabajo.</li> <li>Realizar conexión de mangueras neumáticas con llaves y realizar pruebas en vacío.</li> </ul>   |                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Llave neumática 5989</li> <li>Martillo Neumático</li> <li>Martillo Thunderbolt</li> <li>Botador</li> <li>Mangueras de aire.</li> <li>Compresor</li> <li>Manifold de aire.</li> </ul> |
| <b>TORCHADO</b> |                                      |           |  |                              |   |
| 6.              | Tiempo actividad                     | 1,32 [hr] | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar retiro de tuercas mediante llave neumática y corte con equipo oxicorte</li> <li>La secuencia de retiro de tuercas comienza por la que cumplirá la función de tuerca de seguridad, se retira la tuerca, y la golilla, para solo dejar la tuerca posicionada.</li> <li>Las tuercas que no se pueden retirar serán cortadas por el oxigenista.</li> </ul> |                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Llave Neumática 5980</li> <li>Equipo de oxicorte</li> <li>Siempre se debe dejar al menos una tuerca de seguridad.</li> </ul>   |

| N° DE ACT.                            | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO)   | PUNTOS CLAVES           | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES) |  |   |  |   |
|---------------------------------------|--|-------------------------|------------------------------|--|--|---|--|---|
| <b>BOTADO</b>                         |  |                         |                              |  |  |   |  |   |
| 7.                                    | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;"><b>Tiempo actividad</b></td> <td>2,2 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Botado de pernos y de revestimientos.</td> </tr> </table> | <b>Tiempo actividad</b> | 2,2 [hr]                     | Botado de pernos y de revestimientos.                |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>En primera instancia se botarán los pernos con martillo Thunderbolt, en donde no se pueda utilizar, se procederá a botar con martillo neumático, y en los lugares con menos espacio se botarán los pernos con maceta.</li> <li>En caso de que el revestimiento no caiga por sí solo, se hará retiro de un tapón y se golpeará en ese lugar para botarlo.</li> <li>Si los métodos anteriores no resultan. Sólo el administrador de contrato, con el APR y supervisor de molinos previo análisis declarado, autorizará al operador de Lainera ingresar al molino, operando y posicionando el cabezal en el espacio generado entre el manto y la placa, para posteriormente realizar movimientos a la placa.</li> </ul> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Martillo Thundetbolt</li> <li>Martillo neumático</li> <li>Llave neumática 5980</li> <li>Maceta</li> <li>Punta de martillo</li> <li>Mangueras de aire</li> <li>Compresor.</li> <li>3 personas realizando el proceso de botado, ya sea con martillo thunderbolt, o neumático</li> <li>Uso de chaqueta de cuero.</li> <li>Para el uso de Maceta se debe tener un permiso especial.</li> </ul> |
| <b>Tiempo actividad</b>               | 2,2 [hr]   |                         |                              |  |  |   |  |   |
| Botado de pernos y de revestimientos. |  |                         |                              |  |  |   |  |   |

| N° DE ACT.  | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO)  | PUNTOS CLAVES           | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES)              |  |   |  |   |
|---|---|-------------------------|------------------------------|---|--|---|--|---|
| <b>LIMPIEZA</b>   |   |                         |                              |   |  |   |  |   |
| 8.  | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>1 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Limpieza del manto del molino.</td> </tr> </table>                                    | <b>Tiempo actividad</b> | 1 [hr]                       | Limpieza del manto del molino.                                    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>3 mecánicos realizan la limpieza del manto exterior molino, uniones empernadas, vigas de éste mismo y hasta el estator</li> <li>Para el uso de máquina criogénica deberán ser dos personas, una que inserte hielo seco en la máquina y otro que manipule el equipo.</li> </ul> |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Máquina criogénica</li> <li>Isopo de limpieza</li> <li>Escobilla de acero</li> <li>Grapa.</li> </ul>   |
| <b>Tiempo actividad</b>   | 1 [hr]  |                         |                              |   |  |   |  |   |
| Limpieza del manto del molino.                                    |   |                         |                              |   |  |   |  |   |
| 9.  | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>1 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Limpieza de alojamientos, perforaciones e instalación de camisas.</td> </tr> </table> | <b>Tiempo actividad</b> | 1 [hr]                       | Limpieza de alojamientos, perforaciones e instalación de camisas. |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>2 mecánicos realizan una revisión exhaustiva de las perforaciones con hisopo (chascón) por el exterior del molino</li> <li>2 mecánicos se dedican a intalar las camisas en los alojamientos desbocados marcados previamente por la empresa Protorq.</li> </ul>                 |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Isopo de limpieza</li> <li>Escobilla de acero</li> <li>Acero líquido</li> <li>Camisas.</li> <li>Instalar camisas en los alojamientos desbocados previamente identificados por la empresa Protorq.</li> </ul> |
| <b>Tiempo actividad</b>   | 1 [hr]  |                         |                              |   |  |   |  |   |
| Limpieza de alojamientos, perforaciones e instalación de camisas. |   |                         |                              |   |  |   |  |   |

| N° DE ACT.                    | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO) |          | PUNTOS CLAVES   | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE  | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES)   |
|-------------------------------|--------------------------------------|----------|---|---|--|
| 10.                           | Tiempo actividad                     | 1 [hr]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>El mecánico que queda, más el Líder preparan las posturas con las herramientas y materiales para el montaje.</li> <li>También se van reponiendo, o cambiando tapones.</li> </ul> |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pernos</li> <li>Tuercas</li> <li>Golillas</li> <li>Holillas autotrabante</li> <li>Tapones y grasa</li> <li>Todas estas actividades se realizan en simultáneo con la limpieza de revestimiento interior molino.</li> </ul> |
| <b>LAVADO INTERIOR MOLINO</b> |                                      |          |   |   |  |
| 11.                           | Tiempo actividad                     | 0,5 [hr] |   |   |  |
| <b>MONTAJE</b>                |                                      |          |   |   |  |

| N° DE ACT.    | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO) |          | PUNTOS CLAVES   | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE  | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES)   |
|---------------|--------------------------------------|----------|---|---|--|
| 12.           | Tiempo actividad                     | 2 [hr]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se debe limpiar el perno.</li> <li>Instalar ambas golillas.</li> <li>Aplicar grasa al perno.</li> <li>Instalar tuerca con la mano.</li> <li>Realiza apriete de la tuerca con llave neumática 5980.</li> </ul>  |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Máquina Lainera</li> <li>Grúa horquilla</li> <li>Revestimiento nuevo</li> <li>Pernos</li> <li>Tuercas,</li> <li>Llave neumática 5980</li> <li>Apretar los pernos con llave neumática, y avisar por radio al armador interior molino para retirar la máquina lainera.</li> </ul> |
| <b>TORQUE</b> |                                      |          |   |   |  |
| 14.           | Tiempo actividad                     | 0,4 [hr] | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se debe aplicar torque controlado a cada uno de los pernos.</li> <li>Cada perno torquado se debe pintar para poder identificarlo.</li> <li>Una vez terminado el giro, todas las llaves de torque deben ser enviadas al banco de prueba para volver a calibrarlas.</li> </ul> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Llave de torque electrónica.</li> <li>Asegurar el torque de todos los pernos (Tensión aplicada: 160.000 Lb/F)</li> </ul>  |

| N° DE ACT.                                | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (MÉTODO)   | PUNTOS CLAVES           | FOTOS POSTURAS/ RIESGO CLAVE | HERRAMIENTAS/ RECURSOS/ CONTROL (LÍMITES ACEPTABLES) |  |  |  |  |
|---|--|-------------------------|------------------------------|--|--|--|--|--|
| <b>DESBLOQUEO</b>                         |  |                         |                              |  |  |  |  |  |
| 15.                                       | <table border="1"> <tr> <td><b>Tiempo actividad</b></td> <td>0,25 [hr]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Desbloquear una vez terminado el trabajo.</td> </tr> </table> | <b>Tiempo actividad</b> | 0,25 [hr]                    | Desbloquear una vez terminado el trabajo.            |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Una vez que vaya terminando el montaje y el torque de pernos, asegurar que el personal realice el desbloqueo del equipo.</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Candado</li> <li>Tarjeta personal e intransferible</li> </ul> |
| <b>Tiempo actividad</b>                   | 0,25 [hr]  |                         |                              |  |  |  |  |  |
| Desbloquear una vez terminado el trabajo. |  |                         |                              |  |  |  |  |  |
| 16.                                       | Realizar los pasos anteriores  |                         |                              |  |  |  |  |  |