

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica**



**Trabajo de Suficiencia Profesional**

**Propuesta de cambio de revestimiento de los molinos de bolas  
mediante el SMED para mejorar la disponibilidad en una planta de  
concentrado de cobre**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

Luis Daniel García Robles

 [0009-0000-2136-897X](https://orcid.org/0009-0000-2136-897X)

Asesor

Dr. Aurelio Marcelo Padilla Ríos

 [0009-0007-6270-6171](https://orcid.org/0009-0007-6270-6171)

LIMA – PERÚ

2025

---

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Citar/How to cite              | (Garcia, 2025)   |
| Referencia/Reference           | Garcia, L. (2025). Propuesta de cambio de revestimiento de los molinos de bolas mediante el SMED para mejorar la disponibilidad en una planta de concentrado de cobre. [Tesis Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. |
| Estilo/Style:<br>APA (7ma ed.) |  |

---

## Resumen

En el desarrollo de la investigación presente se basa en resolver baja disponibilidad de los molinos de bolas en la planta concentradora de cobre; nuestro objetivo es plantear una metodología para el cambio de los revestimientos de los molinos de bolas en base a la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) para mejorar disponibilidad.

El estudio inicia con un tiempo base de 120 horas para el cambio de liners en un molino, logrando reducirlo progresivamente a 98 horas y luego a 67 horas, lo que incrementa en 7.26% la disponibilidad.

Además, la optimización reduce la sobreexposición del personal de mantenimiento, evitando 21,624 horas-hombre de riesgo (34 mecánicos por molino). En términos económicos, esto representa un ahorro aproximado de \$92,064 USD en costos de requerimiento de personal contratista por molino intervenido. En producción, cada molino genera aproximadamente 2,400 toneladas por hora, lo que se traduce en 397.5 TM toneladas métricas adicionales gracias al incremento de disponibilidad.

Estos resultados confirman el impacto de la aplicación de la metodología SMED al mantenimiento para el cambio de revestimiento de los molinos de bolas no solo impacta en la aumentar la disponibilidad y eficiencia operativa, adicional impacta significativamente en la exposición del personal en la seguridad, costos y a la producción del estudio de la planta concentradora de cobre.

Palabras clave — SMED, cambio de revestimientos, molinos de bolas, disponibilidad, optimización del mantenimiento.

## **Abstract**

This research applies the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology to optimize the liner change process in ball mills at a concentrator plant, reducing downtime and improving operational availability.

The study begins with a baseline liner change of 120 hours, which is progressively reduced to 98 and then 67 hours. Subsequently, a double relining strategy is implemented, intervening two mills in parallel, increasing the availability of each by 80 hours. Applying this strategy across the six mills in the plant results in a total availability gain of 7.26%.

Furthermore, this optimization reduces maintenance personnel exposure, preventing 7,920 person-hours of risk (34 mechanics per mill). Economically, this translates into an estimated \$92,064 in labor cost savings. In terms of production, each mill generates approximately 2,400 tons per hour, meaning that the additional availability results in an extra 397.5 TM of processed material.

These results confirm that implementing SMED in ball mill maintenance not only looks to enhance operational efficiency but also significantly impacts safety, cost reduction, and plant productivity.

Keywords — SMED, liner, ball mills, availability, maintenance optimization.

## Tabla de Contenido

|  | Pág. |
|--|------|
| Resumen .....  | iii  |
| Abstract .....   | iv   |
| Introducción .....   | xii  |
| Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....              | 1    |
| 1.1 Antecedentes de Investigación .....                        | 1    |
| 1.2 Identificación y Descripción del Problema de Estudio ..... | 3    |
| 1.3 Formulación del Problema .....                             | 5    |
| 1.4 Justificación e Importancia .....                          | 5    |
| 1.5 Objetivo .....   | 6    |
| 1.6 Hipótesis .....  | 6    |
| 1.7 Variables y Operacionalización de variables .....          | 6    |
| 1.7.1 Operacionalización de Variables .....                    | 7    |
| 1.8 Metodología de la investigación .....                      | 7    |
| 1.8.1 Unidades de Análisis .....                               | 7    |
| 1.8.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación .....             | 8    |
| 1.8.3 Diseño de la Investigación .....                         | 8    |
| 1.8.4 Fuentes de Información .....                             | 8    |
| 1.8.5 Población y Muestra .....                                | 8    |
| 1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....    | 9    |
| 1.8.7 Análisis y Procesamiento de datos .....                  | 9    |
| Capítulo II. Marco teórico y Marco conceptual .....            | 10   |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1   | Marco teórico.....   | 10 |
| 2.1.1 | Descripción general.....   | 10 |
| 2.1.2 | Molino de bolas .....  | 14 |
| 2.1.3 | Fundamentos del Proceso .....  | 19 |
| 2.1.4 | Principio de funcionamiento.....   | 21 |
| 2.1.5 | Variables de diseño de Molienda .....  | 23 |
| 2.1.6 | SMED definición .....  | 32 |
| 2.2   | Marco conceptual .....   | 36 |
|       | Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....                        | 38 |
| 3.1   | Implementación del SMED.....   | 43 |
| 3.1.1 | Preparación Previa .....   | 43 |
| 3.1.2 | Identificación y análisis del proceso a intervenir con SMED.....                   | 44 |
| 3.1.3 | Identificar y diferenciar actividades interno y externas .....                     | 46 |
| 3.1.4 | Organizar actividades externas .....   | 52 |
| 3.1.5 | Externalización de tareas internas .....   | 60 |
| 3.1.6 | Optimización de la duración de las tareas internas .....                           | 64 |
| 3.1.7 | Realizar seguimiento .....   | 66 |
|       | Capítulo IV. Resultados, Contratación de Hipótesis y Discusión de Resultados ..... | 74 |
| 4.1   | Resultados.....  | 74 |
| 4.2   | Contratación de hipótesis .....  | 75 |
| 4.3   | Discusión de resultados.....   | 75 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| Recomendaciones ..... | 77 |
| Conclusiones .....    | 78 |
| Referencias .....     | 79 |
| Anexos .....          | 80 |

## INDICE DE FIGURAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | Diagrama de flujo general .....  | 4  |
| Figura 2  | Diagrama general del circuito de molienda línea 1 .....  | 11 |
| Figura 3  | Diagrama simplificado en la etapa de molienda línea 1. ....  | 13 |
| Figura 4  | Diagrama de Entradas y Salidas .....   | 16 |
| Figura 5  | Vista de la disposición de los molinos de la concentradora C2 .....  | 17 |
| Figura 6  | Mecanismos de conminución de molienda de la concentradora C2 .....   | 20 |
| Figura 7  | Relación del consumo de energía con el tamaño del concentrado requerido para la conminución.....   | 21 |
| Figura 8  | Esquema del funcionamiento del molino de bolas.....  | 22 |
| Figura 9  | Partes del molino de bolas .....   | 23 |
| Figura 10 | Fenómenos al interior de molino en función a la velocidad: (A) velocidad reducida, (B) Aumento de velocidad y (C) Velocidad crítica..... | 24 |
| Figura 11 | Caída de bolas .....   | 26 |
| Figura 12 | Efecto del llenado del molino vs la potencia .....   | 27 |
| Figura 13 | Revestimiento al interior del molino.....  | 28 |
| Figura 14 | Revestimiento del cilindro del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m .....  | 29 |
| Figura 15 | Puntos de medición de revestimiento del cilindro del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m .....  | 30 |
| Figura 16 | Puntos de medición de revestimiento de la tapa de alimentación del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m .....                                  | 30 |
| Figura 17 | Puntos de medición de revestimiento de la tapa de descarga del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m .....                                      | 31 |
| Figura 18 | Puntos de medición de revestimiento de la tapa de descarga del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m.....                                       | 31 |
| Figura 19 | Puntos de medición del Filler Ring (Anillo) revestimiento de la tapa de alimentación y descarga del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m ..... | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 20 Pareto en la duración del mantenimiento al molino de bola .....                           | 40 |
| Figura 21 Gráfico de Dispersión logarítmica Jack Knife al mantenimiento al molino de<br>bolas ..... | 43 |
| Figura 22 Reducción MTTR en el cambio de revestimiento del molino de bolas 8.2 D x<br>14.6 m .....  | 66 |

## INDICE DE TABLAS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 1  | Disponibilidad Planta C2 periodo .....  | 4  |
| Tabla 2  | Parámetros del proceso Molienda de la planta de C2 .....  | 7  |
| Tabla 3  | Especificaciones generales del molino de bolas.....   | 15 |
| Tabla 4  | Parámetros del proceso de Molienda de la planta concentradora de cobre....  | 19 |
| Tabla 5  | Tablero de seguimiento.....   | 35 |
| Tabla 6  | Tablero de seguimiento de mantenimiento.....  | 38 |
| Tabla 7  | Lista de 29 actividades aplicadas para el diagrama de Dispersión Jack Knife al mantenimiento de molino de bolas. .... | 41 |
| Tabla 8  | Lista de actividades generales del enlainado de molinos .....   | 45 |
| Tabla 9  | Lista de actividades para el servicio de cambio de revestimiento molino de bolas.....                                 | 46 |
| Tabla 10 | Lista de actividades a ejecutar en el Gantt para el cambio de revestimiento de los molinos de bolas de 120 h. ....    | 51 |
| Tabla 11 | Relación de elementos de seguridad para el cambio de revestimiento del molino de bolas .....                          | 52 |
| Tabla 12 | Lista de equipos para el cambio de revestimientos del molino de bolas.....  | 53 |
| Tabla 13 | Lista de herramientas para el cambio de revestimientos del molino de bolas.   | 53 |
| Tabla 14 | Lista de materiales para el cambio de revestimientos del molino de bolas .....  | 54 |
| Tabla 15 | Lista de elementos de sujeción para el cambio de revestimientos del molino de bolas.....                              | 55 |
| Tabla 16 | Lista de herramientas para el cambio de revestimientos del molino de bolas.   | 56 |
| Tabla 17 | Tabla de giros y posiciones del molino de bolas para su cambio de revestimientos del molino de bolas .....            | 60 |
| Tabla 18 | Relación de personal a intervenir en el cambio de revestimientos del molino de bolas.....                             | 64 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 19 | Relación de actividades a optimizar para el cambio de revestimientos del molino de bolas .....                          | 66 |
| Tabla 20 | Indicadores de gestión. ....  | 68 |
| Tabla 21 | Costo ejecución previos de parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.....                                 | 69 |
| Tabla 22 | Costo durante la ejecución de parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.....                              | 69 |
| Tabla 23 | Costo para el post parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.....   | 70 |
| Tabla 24 | Costo resumen asociados al previo, ejecución y post parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.....        | 70 |
| Tabla 25 | Restricciones por hora de detenciones de equipos principales a la producción de la planta C2 concentrado de cobre. .... | 71 |
| Tabla 26 | Toneladas métricas no procesadas durante la parada para el cambio de revestimiento de molinos de bolas.....             | 71 |
| Tabla 27 | Precio Cobre grado A, LME spot Price, precio por tonelada métrica 2022 y 2025. ....                                     | 72 |
| Tabla 28 | Toneladas métricas no procesadas durante la parada para el cambio de revestimiento de molinos de bolas.....             | 72 |
| Tabla 29 | Resultados finales de la aplicación del SMED para el cambio de revestimiento en molinos de bolas.....                   | 74 |

## Introducción

En la industria de la minería moderna, la disponibilidad operativa de los equipos críticos constituye un factor determinante para garantizar la eficiencia productiva y la rentabilidad del proceso. Entre estos equipos, los molinos de bolas desempeñan un rol fundamental en la conminución de mineral, requiriendo mantenimientos periódicos que, si no se optimizan, pueden convertirse en cuellos de botella operativos. El cambio de revestimientos (liners) representa uno de estos desafíos: esta actividad compleja demanda tiempos prolongados, recursos especializados y una logística precisa, impactando directamente la capacidad productiva de las plantas concentradoras.

En el contexto se desarrolla en una planta concentradora de cobre, esta problemática se hacía evidente: los cambios de revestimientos en los molinos de bolas seguían un enfoque tradicional, con intervenciones que alcanzaban 120 horas por molinos. Este prolongado tiempo de inactividad no solo limita la disponibilidad de los equipos, adicional genera pérdidas económicas significativas y exposición del personal a riesgos del mantenimiento extendidos.

Frente a lo presentado, la tesis propone la implementación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die), una herramienta diseñada para reducir drásticamente los tiempos de cambio mediante la clasificación de actividades (internas/externas), desarrollo de actividades paralelas y la estandarización de procesos. En el presente trabajo su aplicación permitió optimizar de 120 h a 67 h logrando beneficios económicos, producción y reducción de exposición de personal.

Mediante un análisis técnico económico comparativo, esta tesis evalúa el impacto de SMED frente al método tradicional, considerando variables como tiempo medio de reparación (MTTR), disponibilidad, costos directos e indirectos y seguridad laboral.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Antecedentes de Investigación

Santy (2023)<sup>1</sup>, la investigación buscó incrementar la disponibilidad relacionada con las operaciones de molienda en una planta concentradora que presenta baja ley mediante la implementación proveniente del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) mediante un enfoque cuantitativo, analizando indicadores de desempeño asociados a los indicadores MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time to Repair) de reparación; basándose datos de reportes, software de gestión, manuales y actas de reuniones. Identificando a las zarandas húmedas como el equipo más crítico, enfocado en sus funciones, fallas e impacto en la producción, calidad, seguridad y medio ambiente. Dando como resultado, diseño de planes de mantenimiento complementarios y evaluando métricas operativas, logrando incrementar disponibilidad promedio de 79.42% al 85.52%.

Ludeña (2018)<sup>2</sup>, la investigación se basa en la oportunidad del crecimiento acelerado y desordenado de la empresa manufacturera AMFA VITRUM S.A., el cual se dedica a la producción de ampollas de vidrio, teniendo ineficiencias en sus procesos, afectando a la competitividad. Para abordar el presente problema, al implementar la aplicación del SMED en los procesos productivos para optimizar y acortar los tiempos de cambio para la preparación en los cambios en formatos, optimizando eficiencia y logrando disminuir costos. La aplicación de esta herramienta mejoró el rendimiento operativo y los beneficios económicos de la organización, permitiéndole atender nuevos clientes y fortaleciendo su posicionamiento en el mercado sudamericano.

---

<sup>1</sup> Pier Santy, 2023. Implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad del equipo más crítico del área de molienda de mineral de baja ley. [tesis]

<sup>2</sup> Jack Ludeña, 2018. Programa de mantenimiento preventivo para la Planta Concentradora de la empresa minera KOLPA S.A. [Tesis]

Rodríguez (2014)<sup>3</sup>, en este estudio presenta el Mantenimiento Productivo Total (TPM) como un instrumento estratégico para optimizar la eficiencia operativa y garantizar la calidad dentro del ámbito industrial, destacando su éxito en plantas de la industria manufacturera, tanto en el ámbito nacional del Perú y en diversas naciones desarrolladas como Japón y EE. UU. La implementación del TPM permite aumentar la productividad, reducir defectos, minimizar costos operativos y fortalecer el compromiso de los trabajadores, lo que resulta esencial para la competitividad en un mercado globalizado. Además, se resalta la capacidad de los técnicos peruanos para desarrollar soluciones innovadoras, lo que demuestra el potencial de esta metodología para impulsar el desarrollo industrial y económico del país.

Castromonte (2024)<sup>4</sup>, el área del procesamiento de reducción de tamaño de mineral mediante molienda es crítica para lograr la liberación de partículas, encargada de reducir el tamaño de las partículas para cumplir con los requisitos de las siguientes fases del proceso. Esta etapa representa el mayor costo operativo en una planta concentradora, principalmente debido al elevado consumo energético del área de molienda.

Para los molinos semiautógeno o en los tradicionales, los forros internos de los molinos desempeñan un papel fundamental. Además de preservar la integridad estructural de la carcasa del equipo, estos componentes impactan directamente el rendimiento operativo. Los factores clave que determinan su eficacia influyen: la geometría del diseño, que condiciona el comportamiento del movimiento de la carga durante la molienda. Con el material del material de construcción, que afecta la durabilidad y el desgaste. En este estudio, se evaluó un aspecto adicional con impacto en la operación: el peso del revestimiento y su relación con el consumo de energía. Con ello, se comparó el desempeño con un molino de bolas utilizando los dos tipos de revestimiento de acero y los híbridos (combinación caucho y acero).

---

<sup>3</sup> Richard Santos, 2014. Planificación de una parada de Planta por mantenimiento de la unidad de craqueo catalítico fluido de 13500 BPD de refinería la Pampilla. [tesis]

<sup>4</sup> Diego Castromonte 2024. Efecto del uso de revestimientos híbridos en la mejora del rendimiento operativo en un molino de bolas de mineral. [tesis]

## **1.2 Identificación y Descripción del Problema de Estudio**

En Perú país en donde su principal fuente es el sector minero, el desarrollo de las plantas de concentrado el sector minero, el rendimiento operativo de los molinos de bolas es de gran importancia con propósito de evitar paradas en el proceso productivo con la rentabilidad en la planta concentradora. Uno de los principales retos es la duración prolongada del cambio de revestimientos, lo que impacta directamente a la disponibilidad de la planta y la producción total de la operación.

En la planta concentradora de aplicación, el proceso de los forros protectores instalados del molino de bolas tomaba inicialmente 120 horas para el cambio de revestimiento del cuerpo y las tapas, involucrando un equipo de 68 personas distribuidas en turnos de 34 personas por turno día y turno noche. El costo de del servició asciende aproximadamente a \$ 177,408 USD, considerando el costo aproximado de \$ 28 USD por hora- hombre, incluso considerando el tiempo de preparación y traslado de los revestimientos. Además, cada hora de inactividad del molino de bolas representa 2,500 toneladas por hora molino (TPOH), afectando directamente a la disponibilidad de la planta que se basa en molinos de bolas, que en esta planta vendría a ser 6 molinos en operación.

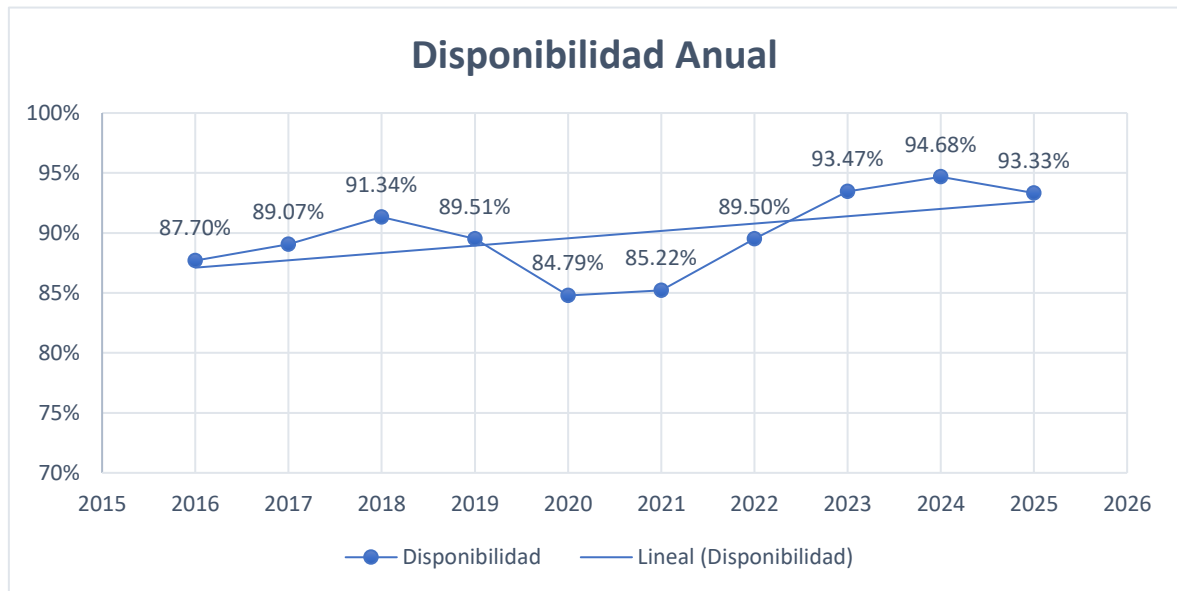
Uno de los factores críticos que impedían reducir el tiempo de intervención es la oposición al cambio del equipo para adaptarse a nuevas metodologías, quienes se encontraban en su zona de confort y no aplicaban herramientas de gestión como usar de herramienta el diagrama de Gantt para tener un mayor control. El proceso tradicional priorizaba la seguridad, pero no consideraba la eficiencia ni la optimización en la ejecución de los mantenimientos.

**Tabla 1**  
*Disponibilidad Planta C2 periodo*

| Plazo - Año  | Eficiencia de Activos | Disponibilidad | TPOH             | TPD               | Producción (TM)       |
|--------------|-----------------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| 2016         | 85.92%                | 87.70%         | 11,566.31        | 238,494.01        | 87,288,807.34         |
| 2017         | 86.96%                | 89.07%         | 11,942.00        | 249,222.13        | 90,966,077.30         |
| 2018         | 90.71%                | 91.34%         | 12,408.02        | 270,116.87        | 98,592,658.68         |
| 2019         | 88.63%                | 89.51%         | 13,235.21        | 281,540.46        | 102,762,266.34        |
| 2020         | 75.94%                | 84.79%         | 13,047.52        | 237,783.94        | 87,028,923.71         |
| 2021         | 83.69%                | 85.22%         | 13,312.05        | 267,375.29        | 97,591,981.41         |
| 2022         | 88.56%                | 89.50%         | 13,731.96        | 291,874.25        | 106,534,099.93        |
| 2023         | 92.17%                | 93.47%         | 13,318.56        | 294,602.70        | 107,529,986.21        |
| 2024         | 93.50%                | 94.68%         | 13,090.86        | 293,763.35        | 107,517,386.10        |
| 2025         | 93.07%                | 93.33%         | 13,183.87        | 294,483.97        | 7,067,615.28          |
| <b>Total</b> | <b>87.91%</b>         | <b>89.86%</b>  | <b>12,883.64</b> | <b>271,925.70</b> | <b>892,879,802.30</b> |

*Nota. Plataforma del Producto Manager histórico de disponibilidad en el Power Bi.*

**Figura 1**  
*Diagrama de flujo general*



### **1.3 Formulación del Problema**

¿De qué manera afecta la disponibilidad el cambio de revestimiento de los molinos de bolas en una planta concentradora de cobre?

### **1.4 Justificación e Importancia**

El cambio de revestimiento de los molinos de bolas viene a ser las actividades más críticas para la disponibilidad operativa de la una planta concentradora. Antes de la aplicación de las optimizaciones, la operación tenía una duración de 120 horas por molino, impactando negativamente en la producción y generando altos costos operativos. Ante este escenario, los motivos que respaldan esta investigación son los siguientes:

#### **Justificación Tecnológica**

La incorporación de la metodología SMED permite optimizar el tiempo de cambio de revestimientos, reduciendo ineficiencias operativas sin comprometer la seguridad ni la calidad del trabajo. La optimización lograda ha reducido los tiempos de enlainado a 67 horas por molinos, mejorando la planificación y realización del mantenimiento

#### **Justificación Económica**

La disminución del tiempo requerido para las intervenciones no solo minimiza costos de mantenimiento, sino que también aumenta la producción efectiva de la planta. Gracias a la optimización del proceso, la disponibilidad operativa se ha incrementado en 7.26% anual, lo que representa 397.5 TM toneladas adicionales de material procesado por cada intervención a un molino. Además, la optimización ha permitido la contratación de personal con menor costo hora hombre, generando un ahorro significativo, incluso el desarrollo de los previos realizarlos con personal propio

#### **Justificación en Seguridad**

La reducción del tiempo de intervención implicar una menor exposición del personal a riesgos laborales. Con la aplicación de SMED, el número total de horas hombre en condiciones de riesgo ha disminuido considerablemente, fortaleciendo la seguridad y el cumplimiento de estándares de prevención de accidentes.

## Justificación Científica y Académica

Esta investigación contribuye al campo de mantenimiento industrial y la optimización de procesos mineros, proporcionando un caso de éxito sobre la aplicación de SMED en la gran minería. Además, los resultados pueden servir de referencia para la mejora de otros procesos críticos en plantas concentradoras, consolidando la importancia de estrategias de mantenimiento ágil.

## Importancia de la Investigación

Este estudio es relevante para la empresa y la industria minera, ya que demuestra cómo una metodología de optimización puede reducir intervalos sin operación, optimizar costos adicionales mejorar seguridad en la operación. Asimismo, con investigación sienta un precedente para la implementación de nuevas estrategias de mejora en mantenimiento que puedan replicarse en otras áreas críticas de la operación.

## 1.5 Objetivo

Proponer el cambio de revestimiento de molinos de bolas mediante SMED para mejorar la disponibilidad y reducir los costos en una planta concentradora de cobre.

## 1.6 Hipótesis

El cambio de revestimiento de molinos de bolas mediante SMED mejora la disponibilidad y reduce los costos de producción en una planta concentradora de cobre.

## 1.7 Variables y Operacionalización de variables

Variable independiente: Metodología SMED

Variable dependiente: Mejora de la disponibilidad

## 1.7.1 Operacionalización de Variables

**Tabla 2**  
*Parámetros del proceso Molienda de la planta de C2*

| Variable                                 | Definición Conceptual   | Definición Operacional  | Dimensiones   | Indicadores  |
|--|---|---|---|--|
| <b>VI</b><br>Metodología SMED            | Es la técnica enfocada a optimizar los tiempos de cambio y preparación de equipos mediante la separación de las actividades externas de las internas a través de la mejora continua | Aplicación de la metodología SMED al cambio de revestimientos en dos molinos de bolas de manera simultánea, reduciendo significativamente el tiempo de inactividad y mejorando el rendimiento operativo | 1. Separación de actividades internas y externas<br>2. Conversión de actividades internas en externas<br>3. Estandarización de procedimientos<br>4. Organización y sincronización de tareas | 1. Tiempo de cambio de revestimiento antes y después de SMED<br>2. Número de personas involucradas<br>3. Costo ejecución<br>4. Tiempo promedio por actividad crítica del proceso |
| <b>VD</b><br>Mejora de la disponibilidad | Desarrollo de la capacidad de la planta concentradora para mantener los equipos operativos en un tiempo determinado, mejorando la eficiencia y minimizando paradas                  | Proporción del tiempo en que la planta concentradora está en condiciones de operar eficientemente, medido antes y después de la implementación SMED   | 1. Tiempo de operación efectivo<br>2. Tiempo de parada programada<br>3. Producción efectiva por unidad de tiempo  | 1. Porcentaje de incremento en la disponibilidad operativa<br>2. Toneladas procesadas adicionales<br>3. Reducción del tiempo de parada de mantenimiento                          |

## 1.8 Metodología de la investigación

### 1.8.1 Unidades de Análisis

La unidad de análisis de la presente investigación comprende desarrollar una metodología basada en el SMED, para el cambio de revestimientos de los 6 molinos de bolas de 2,500 TPOH en una planta concentradora de cobre a 2800 m.s.n.m.

### **1.8.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación**

Tipo de investigación en el presente trabajo es tipo aplicada, debido que busca resolver un problema práctico mediante la mejora del proceso productivo.

Enfoque: El enfoque es cuantitativo, basado en la recolección y análisis de datos numéricos de los tiempos de ejecución del tiempo medio de falla (MTTR) y la disponibilidad de la planta concentradora de cobre.

Nivel: El nivel de investigación es correlacional y explicativo, debido que busca demostrar el impacto de la aplicación de SMED y la optimización en los tiempos de cambio, así como su impacto en la disponibilidad de los molinos de bolas.

### **1.8.3 Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es no experimental. No se manipulan variables. Se compara el desempeño del proceso antes y después de implementar SMED.

### **1.8.4 Fuentes de Información**

Primarias: Registros de mantenimiento en SAP (órdenes de trabajo, tiempos de parada), datos operativos de la planta de la plataforma virtual production management (disponibilidad, toneladas procesadas), reuniones de SMED con las áreas de mantenimiento, planificación y gestión de equipos.

Secundarias: Manuales técnicos del fabricante del molino de bolas, informes de la empresa contratista (metodologías aplicadas previamente), artículos científicos y casos de estudio sobre SMED en minería.

### **1.8.5 Población y Muestra**

Población: Todos los eventos de cambio de revestimiento en los 6 molinos de bolas de la planta concentradora de cobre entre el 2022 y 2024 (36 eventos)

Muestra: de los 36 eventos seleccionados por muestreo no probabilístico intencional, considerando disponibilidad de datos completos (antes / después de SMED) y homogeneidad en las condiciones de operación (misma posición del molino, tiempo de duración de los revestimientos).

#### **1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Técnicas observación directa con el seguimiento en sitio de las actividades durante los cambios de revestimiento, análisis documental revisión de reportes técnicos, órdenes de trabajo y registros históricos; entrevistas semiestructuradas al personal clave (supervisores, mecánicos, contratistas), formatos estandarizados como registro de tiempos por actividad (desmontaje, montaje, giro), cronogramas de Gantt para comparar lo planificado con la ejecución real; listas de validación de cumplimiento de etapas SMED (conversión de actividades internas a externas).

#### **1.8.7 Análisis y Procesamiento de datos**

Organización de los datos se tabularon en hojas de cálculo (Excel) y se depuraron, con los indicadores calculados como MTTR; Tiempo promedio de cambio de revestimiento, el impacto en la disponibilidad y las herramientas como el listado de herramientas requeridas para el desarrollo del cambio de revestimiento

## **Capítulo II. Marco teórico y Marco conceptual**

### **2.1 Marco teórico**

Se tomará como conceptos la metodología SMED como herramienta para la reducción de los tiempos de mantenimiento, molinos de bolas, adicional se explicará el proceso de del diagrama de flujo donde se encuentre la etapa de molienda, la teoría del molino de bolas su principio de funcionamiento y al final se mencionará la teoría de la Optimización de Planes de Mantenimiento (PMO).

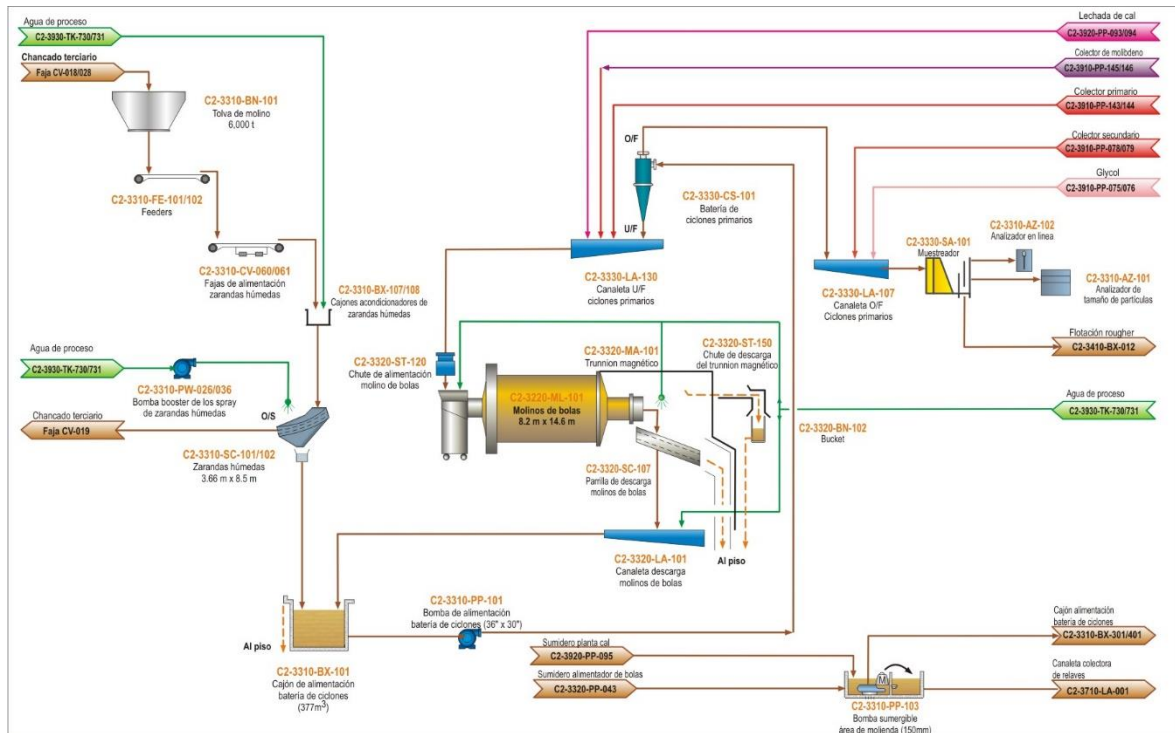
#### **2.1.1 Descripción general**

La minera donde se centra el estudio se encuentra ubicada aproximadamente a 20 millas cerca de la ciudad de Arequipa al Sur del Perú, la altura aproximada donde se encuentra la unidad minera alcanza los 2,800 m.s.n.m. generalmente cuenta con un clima templado y seco; entre enero y marzo cuenta con algunas precipitaciones; la planta concentradora diseñada para procesar inicialmente de diseño aproximadamente 250,000 T/día de concentrado de cobre, procedente de los tajos.

La planta concentradora cuenta con las áreas siguientes, chancado primario, chancado secundario, molienda, flotación de cobre, planta de molibdeno, espesamiento y filtrado de concentrado, recuperación por DFR, espesamiento de relaves, manejo de relaves y recuperación de agua, utilitarios y reactivos, sistema de agua fresca, embarque de concentrado, transporte de concentrado

El diseño de la planta es alcanzar una disponibilidad de 92.5%, con nivel de automatización con el cual cuenta, pero para el circuito de molienda se encuentra con una recuperación aproximada del 88%.

**Figura 2**  
Diagrama general del circuito de molienda línea 1



Nota: Manual de Operación Descripción general Tecsup.

## Molienda

El proceso de molienda y clasificación viene compuesto de: 6 tolvas de molinos, 12 feeders húmedo, 12 fajas alimentadoras, 12 zarandas húmedas, 6 baterías de ciclones primarios, 6 molinos de bolas.

El área de molienda viene a ser en el proceso final de reducción de tamaño con el objetivo de reducir el mineral proveniente de chancado terciario o HPGR (Rodillos de alta presión), en un circuito cerrado con batería de ciclones clasificarlos y así enviar el producto obtenido P80 entre 165 a 185  $\mu\text{m}$  para alimentar a las celdas de flotación Rougher.

El inicio del circuito de molienda da inicio en las tolvas intermedias de alimentación a los molinos de bolas (tolvas de molinos), los cuales se alimentan por mineral húmedo el cual proviene del producto del circuito chancado terciario o HPGRs, con un flujo aproximado de 22,450 T/h a través de las fajas transportadoras CV018/CV028 por medio de los trippers TR018/TR028 hacia las tolvas, que a su vez descargan en los feeders de las zarandas húmedas con velocidad variable los cuales son 12 feeders instalados en paralelo que logran extraer el mineral de las tolvas para trasladarlos hacia las fajas de transportadoras que alimentan las zarandas húmedas, el cual descargan-sobre los cajones acondicionadores de las zarandas húmedas.

A los cajones acondicionadores se les agrega agua de proceso para mezclarlo así logra obtener una pulpa que cuenta con 50% sólidos que el cual por gravedad fluye en las zarandas húmedas de doble deck tipo banana, las cuales cuentan con b instaladas con la función de lavar el mineral.

El mineral oversize el cual tiene un tamaño mayor a 5 mm se transporta a través de las fajas transportadoras CV019/CV029 el cual cuenta con una humedad de 4% y así retornarlo al circuito de chancado terciario o HPGR, el cual se forma una carga circulante y descargan sobre las fajas CV031/CV041.

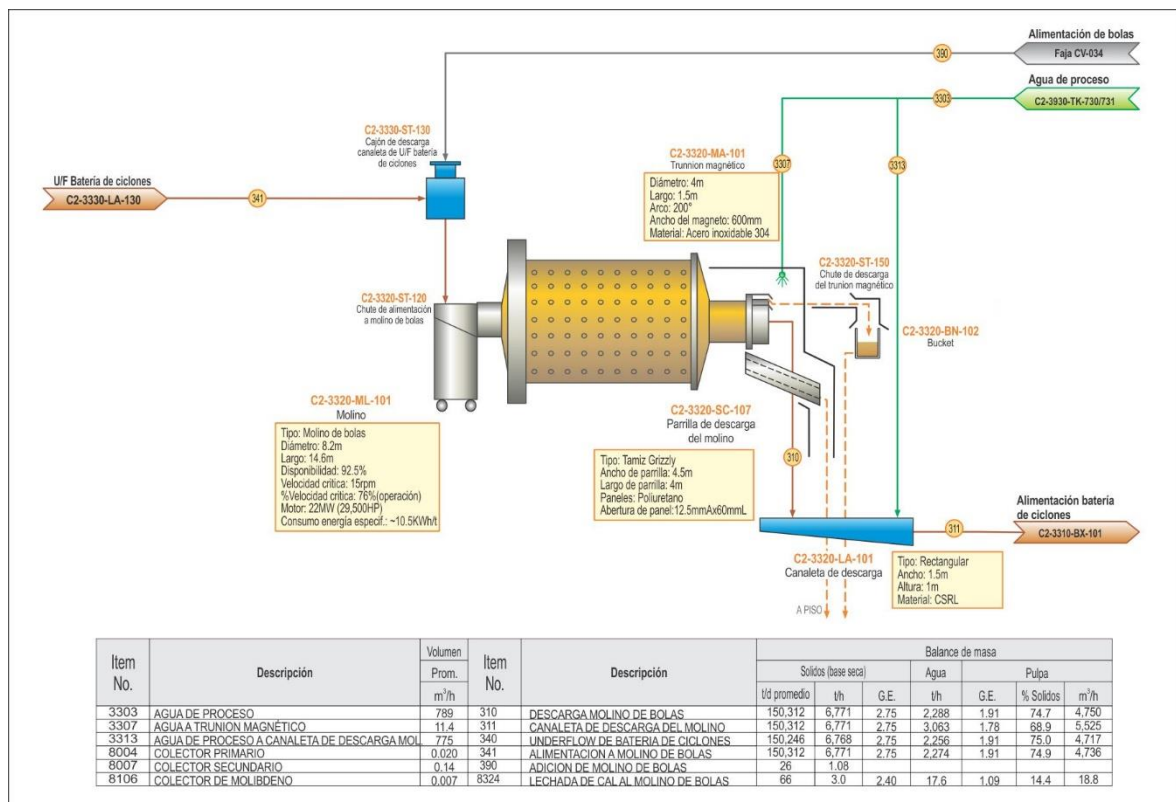
Para el mineral del underzise los cuales tienen un tamaño menor a 5 mm, desciende hacia el cajón que alimenta a las baterías de ciclones teniendo un porcentaje de sólidos al 32%, en este cajón también es alimentado por la descarga de los molinos de bolas el cual ese flujo cuenta con porcentaje de sólidos al 68.9%, generando al combinarse ambas pulpas un porcentaje de sólidos del 55.4%, el cual es enviado a través de las bombas primarias dirigido hacia las baterías de ciclones, el cual para su clasificación cuentan con 16 ciclones, brindando dos productos de su clasificación:

Underflow: Alimenta a los molinos de bolas con una pulpa al 75% de porcentaje de sólidos a través de la del cajón de alimentación de la batería de ciclones por su canaleta.

Overflow: con menor tamaño de partículas con un P80 de 165 a 185  $\mu\text{m}$ , se desplaza por gravedad hacia el proceso de flotación Rougher; con el porcentaje de sólidos al 28%, pasando a través de los muestreadores los cuales son analizados en línea y también la medición del tamaño de las partículas.

Las bolas a los molinos se adicionan a través de un sistema automatizado con el fin de controlar la cantidad de bolas necesarias. Para los reactivos tanto colector primario, el de molibdeno y la lechada de cal son adicionados por la canaleta underflow. Para el colector secundario y el espumante glicol son adicionados a través de la canaleta overflow, con ello se logra adicional al flujo en el circuito de molienda antes de ingresar al proceso de flotación Rougher. El diseño del circuito de clasificación de molienda es diseñado para ser 92.5%.

**Figura 3**  
Diagrama simplificado en la etapa de molienda línea 1.



Nota: Manual de Operaciones – Planta Concentradora C2

### **2.1.2 Molino de bolas**

El área de molienda siendo la última etapa de reducción de tamaño, con la finalidad que el mineral proviene de chancado reducirlo para obtener un tamaño de P80 de 150 a 180  $\mu\text{m}$  o 0.15 a 0.18 mm, siendo las dimensiones adecuadas para ser clasificados a través de los nidos de ciclones en un circuito cerrado, con ello puedan pasar la pulpa con el 28% sólidos en peso al siguiente proceso de flotación.

Los molinos de bolas son equipos fundamentales en el proceso de conminución de minerales, caracterizados por su diseño rotatorio horizontal. Estos dispositivos utilizan bolas de acero forjado como medio de molienda para reducir el tamaño de las partículas mineralizadas. Estructuralmente, están compuestos por:

Cilindro principal: con dimensiones estándar de 8.2 m de diámetro x 14.6 m de longitud, revestido internamente con liners y lifters para optimizar el movimiento de las bolas y el mineral.

Sistema clave: alimentación mediante un chute móvil en la entrada, descarga a través de un trunnion magnético que separa el material molido, accionamiento motor Gearless (sin engranajes) de 22,000 kW, garantiza eficiencia energética, auxiliares en el sistema hidráulico de lubricación y frenado para operación segura.

En el contexto específico de la planta concentradora, los molinos (identificados como 3320-ML101 al ML601) procesan una mezcla de mineral fresco, underflow (UF) de ciclones, bolas de acero y agua de proceso, alimentados por los chutes designados (3320-ST-120 al 620). El producto molido es evacuado hacia las trampas de parrilla (3320-SC-107 al 607) para su clasificación posterior.

**Tabla 3**  
**Especificaciones generales del molino de bolas**

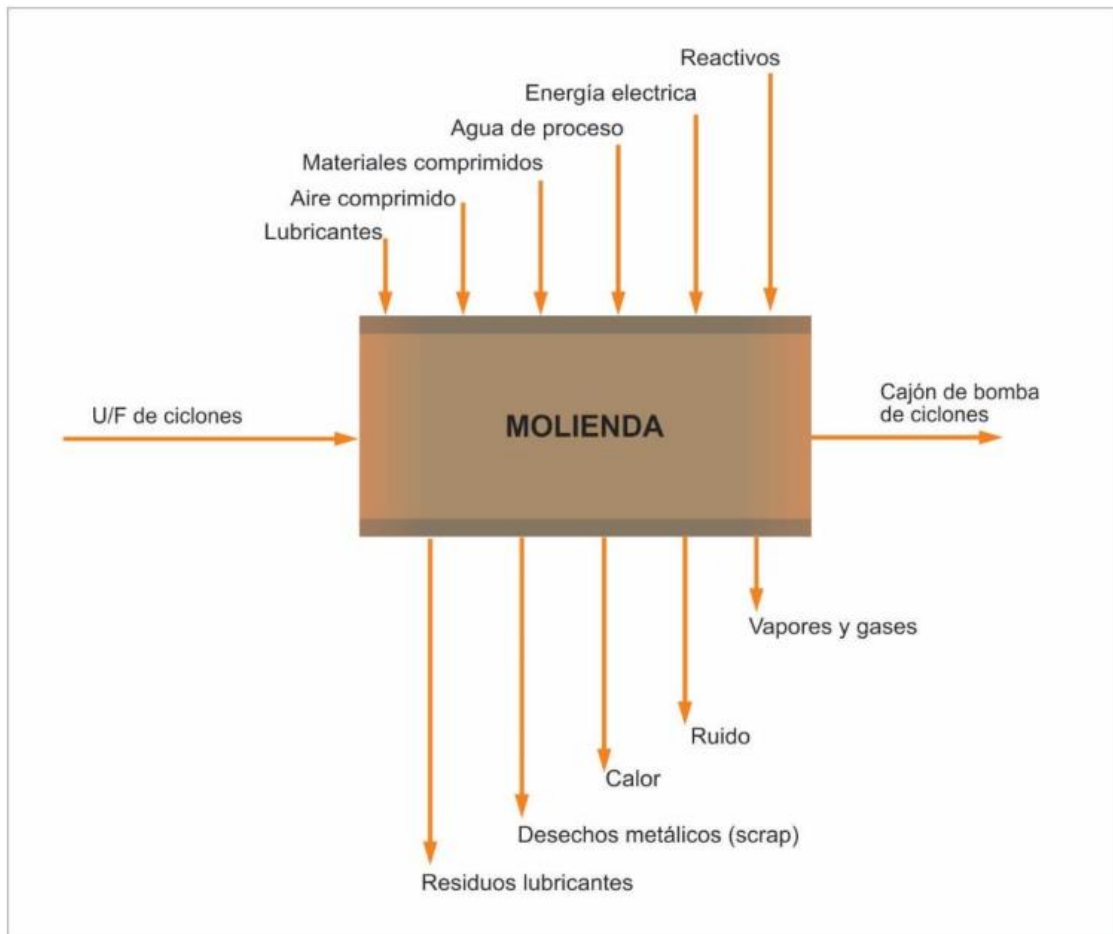
| ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO             |                               |
|---|-------------------------------|
| Identificación (TAG)                              | C2-3320-ML-101 al 601         |
| Marca   | POLYSIUS                      |
| Modelo  | 8,2 D x 14,6 m                |
| Tipo  | TM – M - S                    |
| Grado total de llenado de la cámara de molienda   | 0.34                          |
| Nivel sonoro emitido                              | >85 dB (A)                    |
| Material que moler                                | Mineral de cobre              |
| Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )             | 1.5                           |
| Granulometría máxima (mm)                         | 2.8                           |
| SISTEMA DE ACCIONAMIENTO                          |                               |
| Marca   | ALSTOM                        |
| Potencia (kW)                                     | 22000                         |
| Velocidad de giro (RPM)                           | 11.2                          |
| FRENO   |                               |
| Marca   | SVENDBORG BRAKES              |
| Tipo  | BSFA1110                      |
| SISTEMA DE LUBRICACIÓN                            |                               |
| Dimensiones (mm)                                  | 4094 x 5514                   |
| Tipo de acumulador                                | IHV 50-330/90-330-AA25-13-002 |
| Presión aceite máx. en tubería alta presión (bar) | 100                           |
| Presión aceite máx. en tubería baja presión (bar) | 12                            |

*Nota.* Adaptado de (Manual de Operaciones – Planta Concentradora C2., Área 3300 - Molienda).

#### A) Diagrama de flujo Molienda

El diagrama de flujo de entradas y salidas del proceso de molienda son como entradas: mineral, agua de proceso, reactivos, medios de molienda (bolas de acero), U/F de ciclones primarios y como salidas: pulpa de la descarga con 75 a 78% de sólidos, billas o chips son desechos de las billas desgastadas

**Figura 4**  
*Diagrama de Entradas y Salidas*



*Nota.: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

#### B) Funcionamiento Operacional

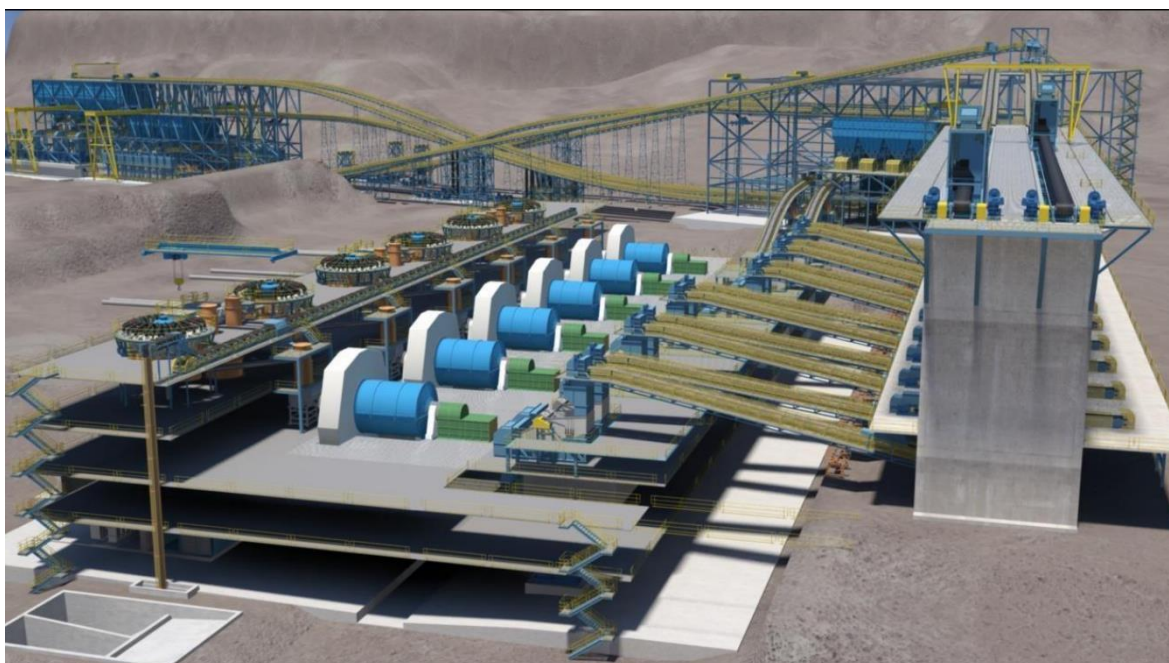
El proceso de la clasificación del proceso del circuito de molienda, el cual se encuentra formado por una tolva de molinos, doce feeders húmedos, doce fajas transportadoras húmedas, doce zarandas húmedas, seis nidos de ciclones, y seis molinos de bolas. Los nidos de ciclones o conocido como batería de ciclones forman parte de la clasificación del circuito cerrado, mientras que las bombas Warman primarios vienen a ser las que los alimenta. La etapa de molienda permite la reducción del mineral en un P80 de 180 $\mu$ m, el cual permite la separación para el circuito de flotación durante su proceso el mineral de la ganga.

Todo el circuito de molienda se da inicio en las tolvas que alimentan a los molinos de bolas los cuales tienen su denominación BN 101/201/301/401/501/60 los cuales serán denominadas tolvas de molinos. Para alimentar las tolvas de los molinos con el mineral húmedo, es transportado desde las chancadoras HPGR a través de las fajas CV018 y CV028 por medio de los trippers TR018 y TR028.

A su vez descargan en las tolvas de molinos que descargan cada uno en dos feeders húmedos con velocidad variable, los 12 feeders húmedos en paralelo con denominación FE101/102 / 201/202 / 301/302 / 401/402 / 501/502 / 601/602, que transportan el mineral a las doce fajas transportadoras con denominación CV060/061 / 062/063 / 064/065 / 066/067 / 068/069 / 070/071, los cuales a su vez transfieren el mineral a los cajones acondicionadores de las zarandas húmedas con la siguiente denominación BX107/108 / 207/208 / 307/308 / 407/408 / 507/508 / 607/608.

### **Figura 5**

*Vista de la disposición de los molinos de la concentradora C2*



*Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

Una vez el mineral se encuentra en los cajones acondicionadores, en los cuales se encuentran quenas que vierten agua del proceso para así con el mineral formar la pulpa con 57 a 60% de sólidos el cual la pulpa continúa el proceso llegando por gravedad a las zarandas tipo banana húmedas de doble deck, con la denominación SC101/102 / 201/202 / 301/302 / 401/402 / 501/502 / 601/602, las cuales cuentan también con quenas y con el agua del proceso se vierte a la mezcla para lavar el mineral.

El proceso de las zarandas es separar los tamaños del mineral, el de mayor a 5 mm el cual se va a denominar oversize, regresa al proceso a través de las fajas transportadoras CV019/CV029 con menor húmedas como carga circulante para que regrese al circuito de la chancadora terciaria. Estas fajas cuentan cada uno con su estación de limpieza denominada ZM019/ZM029 los cuales a través de aspersores limpian las fajas. El exceso o derrame de agua fluyen al cajón de bombe de efluentes denominado BX023 de zarandeo secundario.

Para el mineral de menor tamaño al de 5 mm el cual se va a denominar undersize, se transporta por gravedad al cajón de alimentación de los nidos de ciclones o batería de ciclones, los cuales están denominados BX101/201/301/401/501/601 para los cuales los cajones de alimentación también son alimentados en el circuito cerrado por los molinos de bola, este flujo de la descarga de los molinos de bolas y el de las zarandas húmedas es impulsado a través de las bombas primarias denominadas PP101/201/301/401/501/601, a los nidos de ciclones los cuales son denominados CS101/201/301/401/501/601; cada nido de ciclones está compuesto por 16 ciclones, estos a su vez su función principal de la clasificación del mineral, brindando la separación en underflow y overflow.

**Tabla 4***Parámetros del proceso de Molienda de la planta concentradora de cobre*

| <b>Subproceso</b>                   | <b>Variable del proceso</b>                                   | <b>Rango</b>  |
|-------------------------------------|---|---|
| Circuito de Molienda                | Capacidad alimentación  | 26,400 t/h  |
|                                     | Disponibilidad  | 0.8638  |
| Clasificación<br>Zarandas húmedas   | % Sólidos alimentación  | 57-60%  |
|                                     | Lavado de finos del oversize Zarandas húmedas                 | 100 - 150 m <sup>3</sup> /h para cada zaranda       |
| Alimentación al nido<br>de ciclones | Nivel cajón alimentación ciclones                             | 75-85%  |
|                                     | % Sólidos undersize zarandas húmedas al cajón de alimentación | 0.32  |
|                                     | % Sólidos descarga al cajón desde los molinos de bolas        | 0.689   |
|                                     | % Sólidos de la pulpa que llega al nido de ciclones           | 0.554   |
| Nido de ciclones                    | % Sólidos underflow del nido de ciclones                      | 0.75  |
|                                     | % sólidos overflow del nido de ciclones                       | 0.28  |
|                                     | P80 de overflow del nido de ciclones                          | 165 a 185 micrones                                  |
|                                     | Presión alimentación al nido de ciclones                      | 110 - 130 kpa                                       |
| Molino de bolas                     | D80 overflow del nido de ciclones                             | 150 - 180 μm  |
|                                     | Potencia consumida  | 21 ,100 - 22,000 kW                                 |
|                                     | Recarga de bolas en el molino                                 | 0.5 - 0.7 kg/TM = 156 t/día                         |
|                                     | Diámetro de bolas   | 2 / 25" (50% / 50%)                                 |
|                                     | Densidad de pulpa en la descarga                              | 70% sólidos, aproximadamente 1.78 t/ m <sup>3</sup> |
|                                     | Velocidad giro  | 11.4 RPM, 76% velocidad crítica                     |

*Nota:* Adaptado de (Guía de competencia, Operaciones de Molienda C2., 2024).

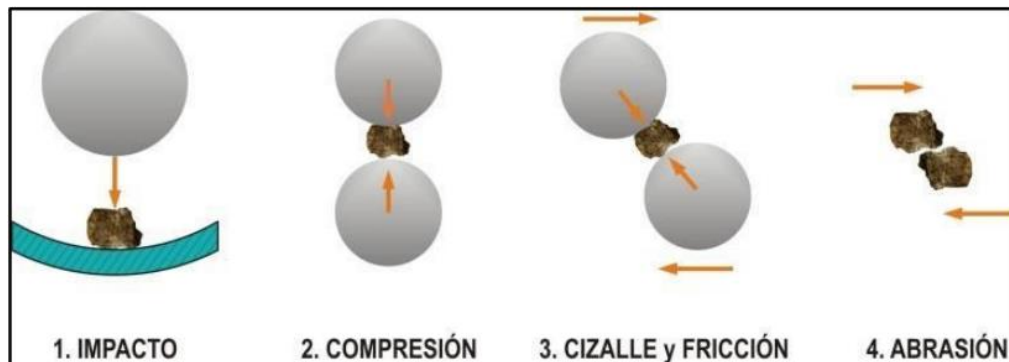
### **2.1.3 Fundamentos del Proceso**

#### **a) CONMINUCIÓN**

El proceso de reducción del tamaño del mineral se le denomina conminución, de los cuales se tiene como mecanismos la fractura, la abrasión y el impacto, de los mencionados en la conminución de molienda se desarrolla por impacto, compresión, fricción y también abrasión.

## Figura 6

Mecanismos de conminución de molienda de la concentradora C2



Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2

A continuación, se describirán los tipos de conminución que se desarrollan dentro de los molinos de bolas C2.

### b) IMPACTO:

Viene a ser la fuerza repentina que provoca la fractura del mineral debido a un golpe violento. Ocurre cuando las bolas de los molinos caen desde cierta altura y golpean directamente al mineral, provocando su ruptura. Siendo el principal mecanismo de conminución dentro de los molinos de bolas.

### c) COMPRESIÓN:

Es la acción de reducir el tamaño del mineral por fuerzas que lo aprietan desde lados opuestos. Se desarrolla cuando el mineral al ser comprimido entre dos bolas o entre una bola y el revestimiento del molino, generando presión que ayuda a su fragmentación.

### d) FRICCIÓN:

Es la fuerza de roce entre dos superficies que se deslizan entre sí. Se produce entre bolas y mineral o entre bolas, lo cual ayuda a desgastar el mineral por rozamiento

### e) ABRASIÓN:

Es el desgaste progresivo del mineral al ser raspado por superficies rugosas o partículas duras. Se desarrolla cuando el mineral se ve expuesto al roce continuo de bolas, partículas finas o el revestimiento, produciendo desgaste superficial.

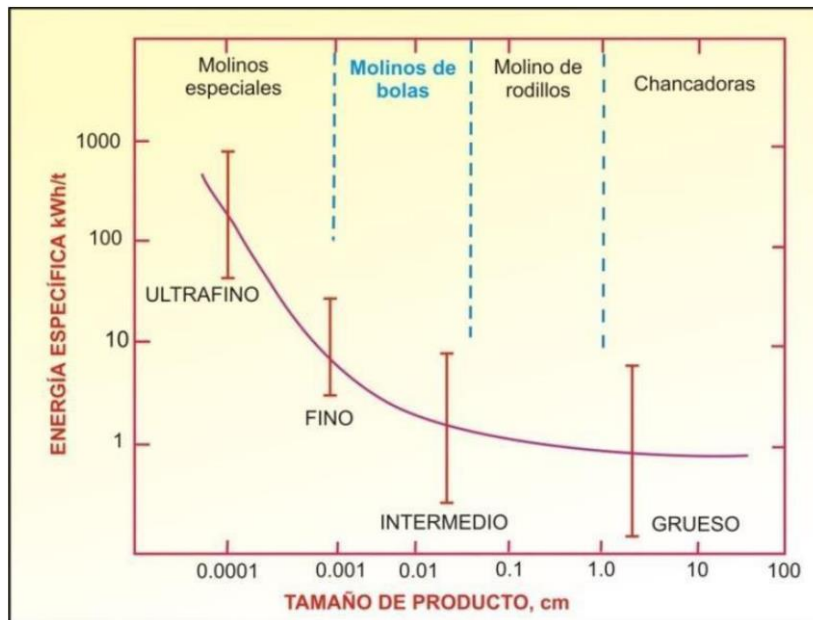
### 2.1.4 Principio de funcionamiento

El molino es un equipo de rotación el cual su función principal es reducir las partículas del mineral; con el uso de bolas de acero se logra la conminución del mineral y así obtener el tamaño requerido del concentrado, para continuar el proceso de recuperación en el circuito de flotación.

El consumo para el proceso de conminución viene a ser directamente proporcional a la reducción del tamaño del mineral. Entonces la potencia consumida por la energía se relaciona con el tonelaje procesado.

#### Figura 7

Relación del consumo de energía con el tamaño del concentrado requerido para la conminución



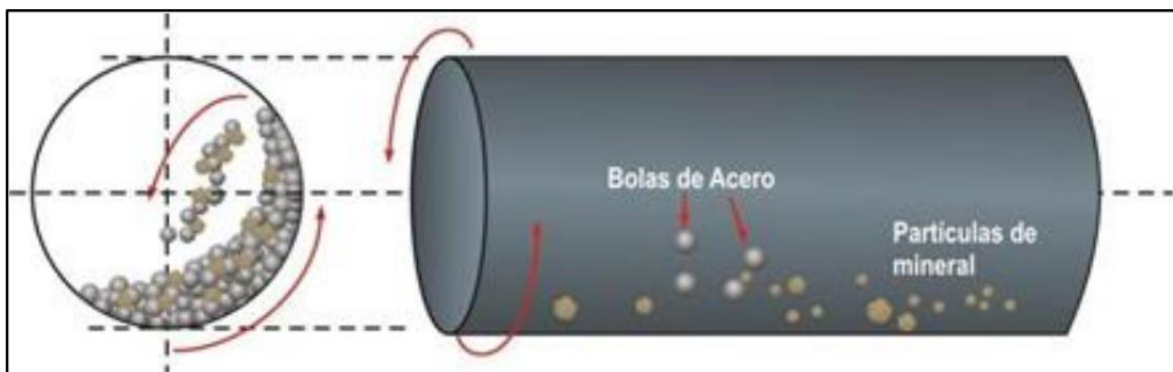
Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2

Para poder tener un correcto funcionamiento del molino de bolas debe operar con un nivel de que oscila entre el 35 y el 45%. Para poder desarrollar su proceso de conminución, utiliza bolas de acero forjado, o bolas fundidas en ciertos casos, según balance técnico económico, y para el proceso se desarrolla en un circuito cerrado con un clasificador. La ventaja con el molino de bolas radica en la capacidad lograr que el concentrado más fino en comparación con otros molinos, gracias a la mayor superficie de

contacto entre el concentrado y las bolas de acero, logrando la reducción del tamaño de partícula, para este proceso las bolas de acero son de 50 mm a 70 mm de diámetro.

El funcionamiento principal es basado en el impacto y la fricción generado por las bolas de acero al caer sobre el mineral, como cascada impulsada por la rotación del molino de bolas y la fuerza de gravedad. Esta rotación es impulsada por el motor sin engranajes acoplado a un sistema de accionamiento tubular. Adicional se incorpora a través del chute de alimentación del molino de bolas agua del proceso.

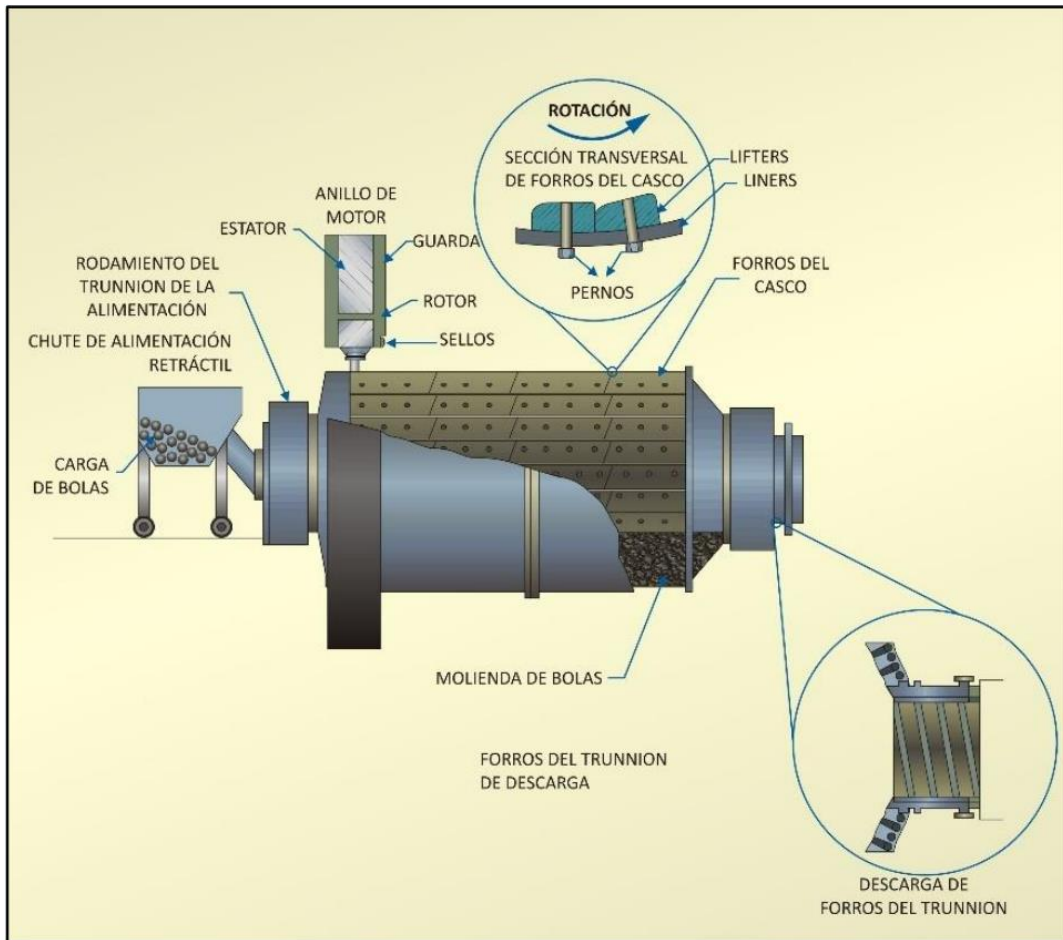
**Figura 8**  
*Esquema del funcionamiento del molino de bolas*



*Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

El proceso de conminución en la molienda se produce mediante la acción combinada de impacto y abrasión. Para facilitar este proceso, el molino cuenta con un revestimiento interno especial (liners / lifters) que promueve el levantamiento de los cuerpos moledores junto con el material a procesar. Finalmente, el producto molido es evacuado del molino junto con el agua de proceso a través de un chute de descarga ubicado en la salida del equipo.

**Figura 9**  
*Partes del molino de bolas*



*Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

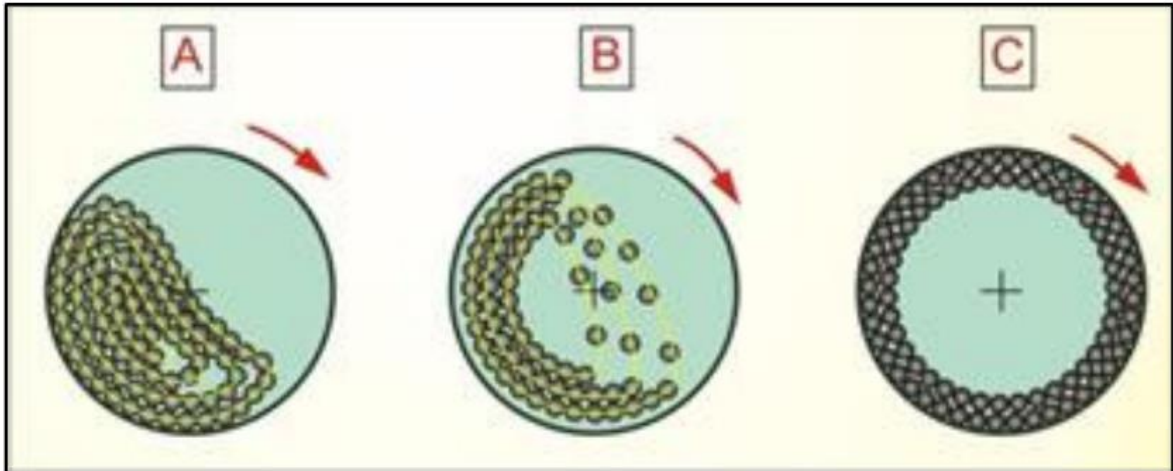
### **2.1.5 Variables de diseño de Molienda**

#### **A) Velocidad Crítica del Molino (NC)**

La velocidad crítica corresponde a la mínima velocidad de rotación donde los medios de molienda y la carga mineral se adhieren a las paredes internas del cilindro del molino por efecto de la fuerza centrífuga. Este fenómeno puede observarse en sus diferentes manifestaciones en la figura 8, donde se ilustran los distintos regímenes de movimiento al interior del molino.

### Figura 10

Fenómenos al interior de molino en función a la velocidad: (A) velocidad reducida, (B) Aumento de velocidad y (C) Velocidad crítica



Nota. Guía de Competencia Operación de Molienda C2

La velocidad de operación típica de los molinos de bolas corresponde aproximadamente al 75% de la velocidad crítica ( $N_c$ ). Esta velocidad límite se calcula mediante las siguientes expresiones matemáticas:

Para diámetros en metros:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$

Para diámetros en pies:

$$N_c = \frac{76.6}{\sqrt{D}}$$

Donde:  $N_c$  = Velocidad crítica (en revoluciones por minuto, rpm); D = Diámetro interno del molino (en metros o pies según corresponda)

#### B) Movimiento de la Carga en el Molino

Los molinos rotatorios realizan la conminución de partículas mediante un mecanismo combinado de rotación del tambor e impacto de los medios moledores sobre el concentrado. El movimiento de la carga interna presenta dos patrones característicos:

**Cascada:**

Ocurre cuando los medios de molienda (bolas) ruedan desde la zona superior hasta la base de la carga. Este movimiento genera principalmente; fragmentación por abrasión y fricción, producción de material fino, mayor área de contacto entre bolas y mineral

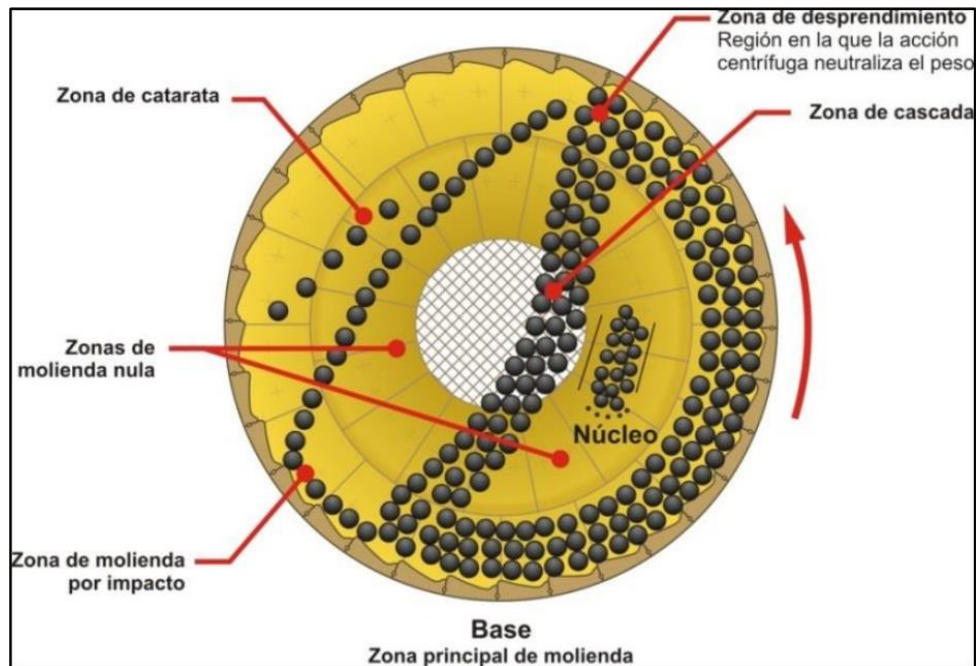
**Catarata**

Se produce cuando los medios molidores son proyectados en trayectoria parabólica desde la parte superior hasta el pie de la carga. Este movimiento origina: fragmentación predominante por impacto, generación del producto más grueso, mayor energía de impacto por caída libre.

En la práctica operativa, el molino presenta un movimiento combinado de ambos regímenes (cascada catarata), cuya proporción relativa depende de factores como: velocidad de rotación, nivel de llenado, características de mineral, diseño de los lifters.

La interacción de estos patrones de movimiento puede observarse en la Figura 9, donde se aprecia la dinámica completa de la carga durante la operación del molino.

**Figura 11**  
*Caída de bolas*



*Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

### **Zona de Desprendimiento**

La zona de desprendimiento corresponde al área donde la fuerza centrífuga equilibra el peso de los medios moledores. La velocidad de rotación del molino influye directamente en este fenómeno:

**Velocidad demasiado baja:** La fuerza centrífuga es insuficiente para elevar la carga hasta la zona de desprendimiento, lo que elimina el efecto de catarata, reduce la eficiencia de molienda y aumenta el P80 del producto enviado a flotación Rougher.

**Velocidad excesiva:** La fuerza centrífuga impide la caída de la carga desde la zona de desprendimiento, causando adherencia continua de la carga a las paredes e interrupción efectiva del proceso de molienda.

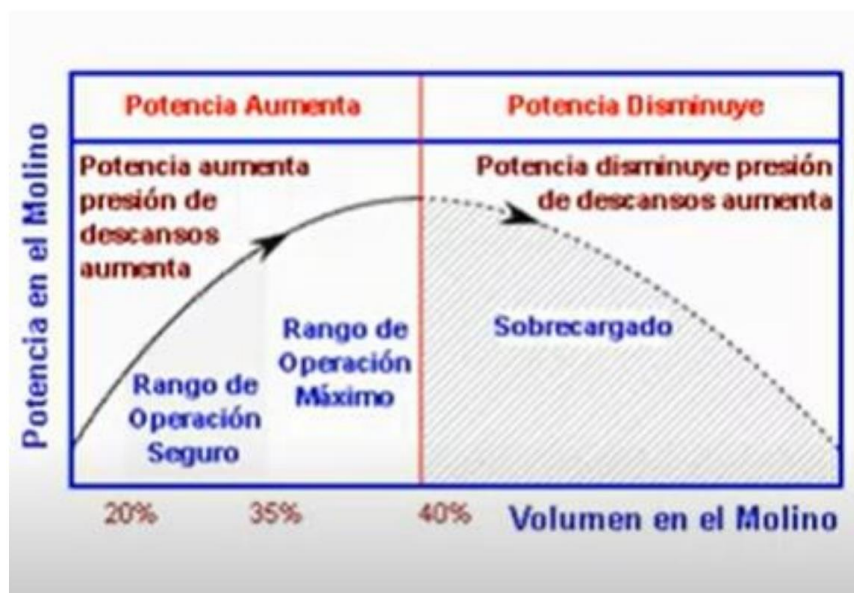
### C) Relación Potencia – Carga del Molino

La potencia consumida por el molino depende del peso propio del equipo y de la masa de la carga interna.

La relación sigue una tendencia directamente proporcional hasta alcanzar un punto máximo (alrededor del 50% de carga volumétrica), tras el cual la potencia disminuye. Por ello: la operación óptima se mantiene con cargas del 45% (según criterios de diseño), la figura 10 ilustra la curva característica de potencia.

**Figura 12**

*Efecto del llenado del molino vs la potencia*



*Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

### D) Gestión de la carga de bolas

Factores que afectan el consumo de bolas ("chips"): tonelaje procesado, dureza del mineral, tamaño de alimentación, grado reducción requerido

Métodos de control: recarga periódica: Diaria o por turno (según cálculos metalúrgicos), cálculo del volumen de carga ( $V_c$ ), expresado como fracción del volumen total del molino, medición directa (con molino detenido) con el diámetro interno entre corazas y distancia desde la superficie de la carga al centro del molino

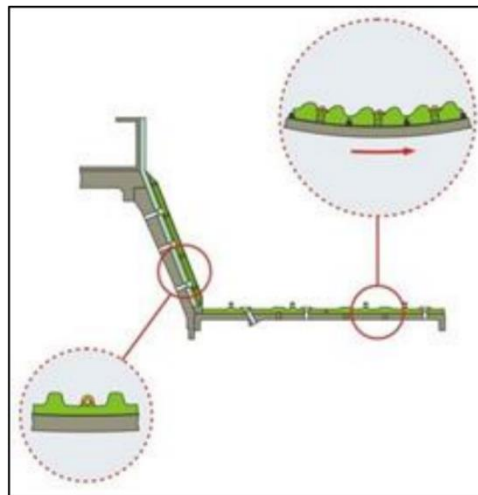
E) Revestimiento (Forros – Chaquetas) del molino de bolas

Funciones clave: protección mecánica del casco del molino y modulación del efecto de molienda mediante: diseño del perfil (lifters) y el control del movimiento de los medios molidores

Impacto operativo: reducción de capacidad por consumo adicional de potencia e influencia directa en la eficiencia de fractura (Figura 11)

**Figura 13**

*Revestimiento al interior del molino*

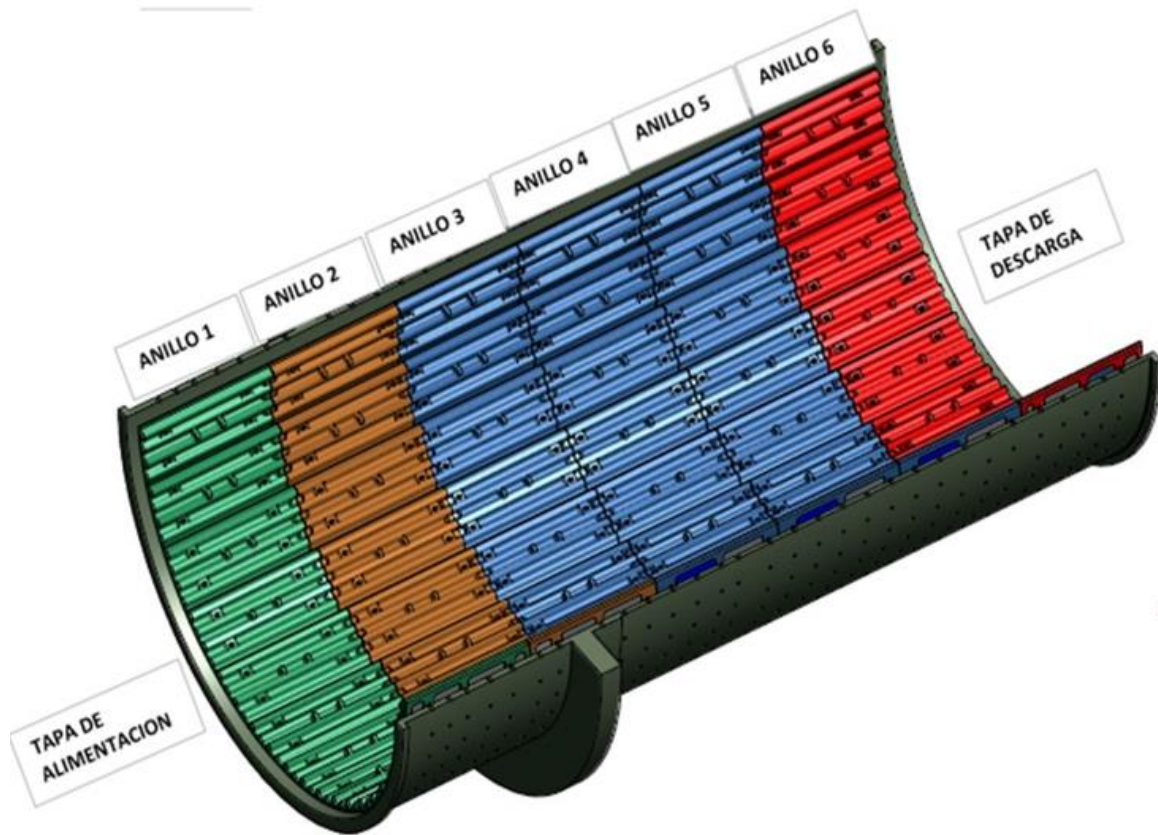


*Nota: Guía de Competencia Operación de Molienda C2*

Para el molino de bolas el cual se está trabajando en el presente trabajo, siendo un modelo 8.2 D x 14.6 m, quiere decir 8.2 m de diámetro y 14.6 m de largo el cual cuenta con 6 anillos de revestimientos en el cilindro y adicional los revestimientos que cuenta en las tapas de alimentación y tapa de descarga.

### Figura 14

Revestimiento del cilindro del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m

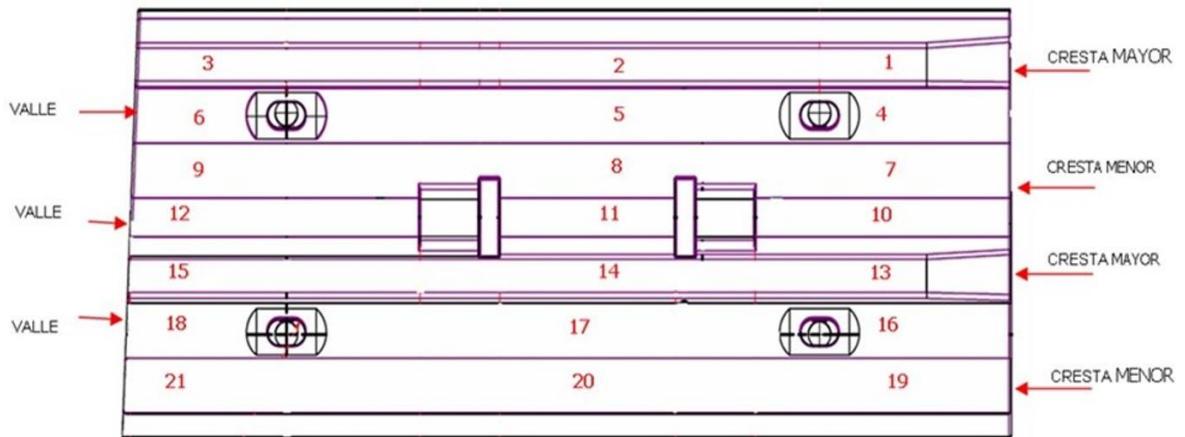


*Nota: Protocolo de cambio de revestimiento molinos*

Teniendo las posiciones de los revestimientos en el molino de bolas, se definen los puntos de medición para el seguimiento del cambio de los revestimientos.

**Figura 15**

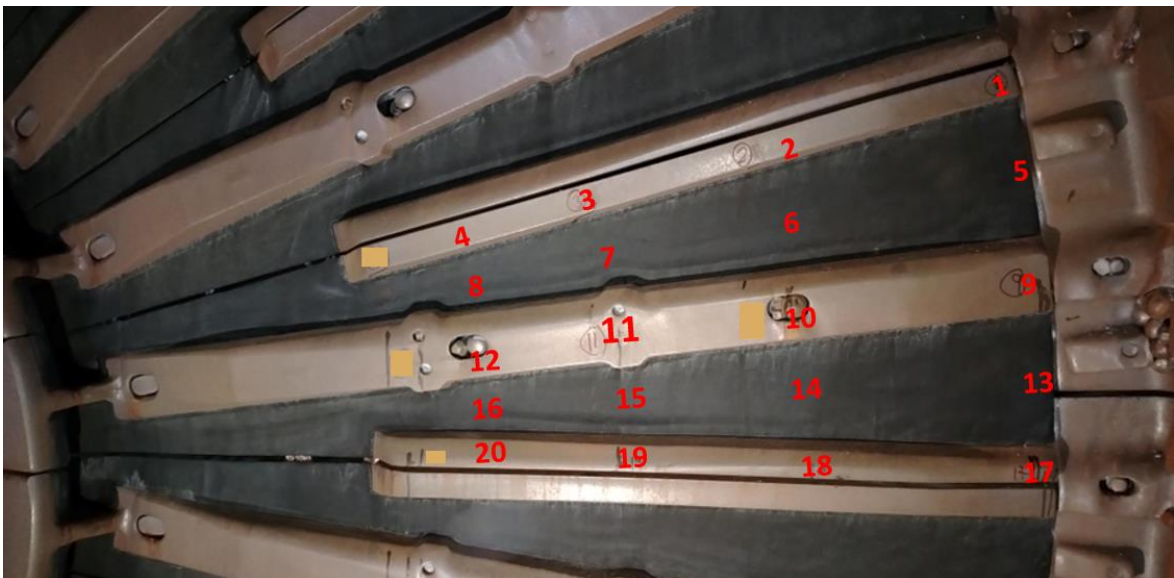
*Puntos de medición de revestimiento del cilindro del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m*



*Nota: Protocolo de medición de revestimiento molinos de bolas*

**Figura 16**

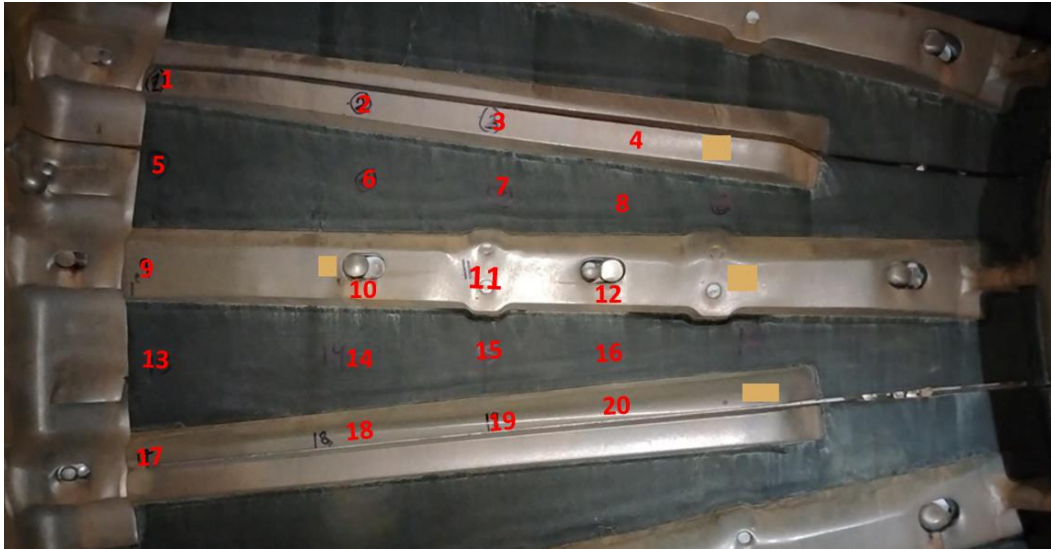
*Puntos de medición de revestimiento de la tapa de alimentación del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m*



*Nota: Protocolo de medición de revestimiento molinos de bolas*

**Figura 17**

*Puntos de medición de revestimiento de la tapa de descarga del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m*



*Nota: Protocolo de medición de revestimiento molinos de bolas*

**Figura 18**

*Puntos de medición de revestimiento de la tapa de descarga del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m*



*Nota: Protocolo de medición de revestimiento molinos de bolas*

### Figura 19

Puntos de medición del Filler Ring (Anillo) revestimiento de la tapa de alimentación y descarga del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m



*Nota: Protocolo de medición de revestimiento molinos de bolas*

#### 2.1.6 SMED definición

Con las siglas del SMED en el idioma original Single Minute Exchange of Dies, para la presente tesis enfocado en los revestimientos; viene es una metodología orientada a disminuir el tiempo de cambio en los equipos dentro de los entornos de producción. Al mismo tiempo, actúa como una herramienta clave dentro de la mejora continua. Su origen se vincula con la necesidad de considerar la reducción de las dimensiones de los moldes para los procesos de estampado, lo que a optimizar el tiempo requerido para el reemplazo de la matriz base.

Para lograr comprender mejor sobre SMED se brindará las siguientes definiciones:

Tiempo de reemplazo o cambio: Viene a ser el periodo de fabricación el cual emplea entre desde el fin del procesamiento del producto anterior hasta el inicio efectivo del nuevo

producto confiable de la pieza entrante, quiere decir, la duración de cambio del equipo en reposo.

Preparación: Actividades previas requeridas para el cambio en referencia. Para el área productiva el desperdicio (muda) durante la preparación, el cual no genera valor productivo.

Preparación interna: Actividades que requiere la operación durante la preparación que sólo se desarrollan con equipo detenido (parado)

Preparación externa: Actividades que requiere la preparación que logran desarrollarse con equipo en funcionamiento

### **A) ¿Cuál es la función del SMED?**

La metodología SMED nos brinda pasos con el objetivo de disminuir la duración del cambio y, al mismo tiempo, incrementar la confiabilidad del proceso, lo que no ayuda a reducir riesgos de averías y defectos que pueden desarrollarse en un cambio.

El tiempo de cambio optimizado es aprovechable en las siguientes perspectivas para el mantenimiento:

1. Incremento de la producción y disponibilidad, logrando mantener tanto la periodicidad de los cambios y la cantidad de unidades por lote.
2. Incrementando la frecuencia de cambio se logra reducir el stock en proceso, logrando disminuir las dimensiones de los moldes y cambio de estos.

### **B) ¿Cómo funciona el SMED?**

En el año 1969 el Dr. Shigeo Shingo, considerado el padre del SMED, se basó sus fundamentos para definir cómo conseguir reducir el tiempo de cambio de una prensa de 1,000 toneladas de 4 horas a 3 minutos, de ahí sale el concepto del principio menos de 10 minutos.

A pesar de que la definición brindada para el SMED en la reducción de los tiempos de preparación para menos de 10 minutos no será posible siempre.

### **C) Los 7 pasos del SMED:**

#### **1. Preparación previa:**

La presente etapa consta de dos partes:

##### **a) Investigar**

Recopilar los datos históricos de los tiempos de preparación y cambio a través de Gantt y buenas prácticas que se han venido desarrollando en la planta.

Conocimiento del producto, equipo, la operación a realizar de la máquina, el diagrama de flujo y distribución de la planta.

A través de grabaciones pasadas o en un trabajo ejecutado observar la preparación en sitio, a través de Gantt y en campo

##### **b) Crear un equipo**

La base es formar un equipo, para desarrollarlo y formarlo con los fundamentos necesarios del SMED, brindando las facilidades y medios necesarios para poder realizar el objetivo de optimizar los tiempos.

#### **2. Analizar la actividad en la que se va a centralizar el SMED**

Se desarrolla a través de la filmación en detalle de cada una de todas las actividades a realizar durante todo el proceso de cambio a ejecutar tanto en la preparación como en la ejecución hasta el funcionamiento confiable.

#### **3. Separar lo interno de lo externo:**

Durante el desarrollo de esta etapa cada miembro del equipo formado repasa todas las actividades anteriores para lograr identificar cada actividad que puede ejecutarse de manera externa. Para esta etapa se comprende la aplicación del concepto brindado de actividad externa; siendo aquella actividad que puede realizarse con el equipo en operación y por lo tanto su ejecución no va a impactar en el tiempo total proceso completo.

#### 4. Organizar las actividades externas:

Mantenimiento el equipo en operación se pueden desarrollar las actividades externas, para esta etapa el equipo formado del SMED debe realizar una planificación a detalle de todas las actividades externas con el objetivo que cada una de las actividades externas estén desarrolladas y ejecutadas como preparativos antes que del desarrollo del proceso del inicio cambio.

#### 5. Convertir lo interno en externo

Una vez teniendo la lista y el desglose de cada una de las actividades se identifican las actividades que se tiene la posibilidad de convertir en externas, y con el soporte del equipo desarrolla un plan de acción para lograr convertir en externas dichas actividades. Para cada una de esas actividades se recomienda usar un cuadro, con los siguientes ítems el cual nos ayuda a definir que se va a realizar, responsable de la ejecución, oportunidades para su ejecución y el plazo de ejecución

**Tabla 5**  
*Tablero de seguimiento*

| TABLERO SEGUIMIENTO |             |               |       |
|---------------------|-------------|---------------|-------|
| HACER               | RESPONSABLE | OPORTUNIDADES | PLAZO |
|                     |             |               |       |

*Nota: 7 pasos aplicación SMED*

#### 6. Reducir los tiempos de las actividades internas

Para esta etapa del proceso el equipo desarrollado plantea nuevas maniobras y mejoras para poder lograr la reducción de los tiempos de ejecución de todas las actividades internas y su ejecución en paralelo.

#### 7. Realizar el seguimiento

Con el desarrollo completo del SMED, se tiene que plantear la estrategia a usar para el seguimiento de cada plan de acción de previos y mejoras para poder lograr su ejecución si en el caso sufre desviaciones poder tomar planes de acción adicional como

contingencia para poder cumplir los plazos establecidos, el seguimiento mencionado se basa en 2 soportes: registrar cada incidencia que se da durante cada semana y registrar todos los tiempos de cambio que se han desarrollado, con ello poder mostrar a través de una gráfica representando los valores máximos mínimos y medio de cada ejecución.

La metodología SMED no solo en cualquier empresa de manufactura sino también para el mantenimiento de equipos de planta, para esta tesis se centrará para el mantenimiento del cambio de revestimiento de un molino de bolas, donde el fin común siempre será mayor disponibilidad quiere decir reducir tiempos evitando desperdicios o retrabajos, recordando que se debe identificar todas las actividades o tareas internas que se puedan ejecutar de manera externa para lograr mayor disponibilidad del equipo evitando tiempos muertos, otros objetivos secundarios del SMED permiten reducir inventarios en el desarrollo del proceso por el cambio de maquinaria que se realiza en cada proceso.

## **2.2 Marco conceptual**

### **a) SMED**

Es una metodología que busca reducir el tiempo de cambio o ajuste de maquinarias a menos de 10 minutos, mediante la separación y optimización de actividades internas y externas, con el fin de aumentar la disponibilidad y flexibilidad en los procesos productivos

### **b) Molino de bolas**

Es un equipo de molienda utilizado en la industria minera para reducir el tamaño de las partículas del mineral mediante la rotación de un tambor que contiene bolas de acero, las cuales impactan y friccionan el material hasta alcanzar la granulometría deseada.

### **c) Revestimiento (liners) del Shell (cuerpo) y tapas de molinos de bolas**

Son componentes internos de protección instalados en el cilindro (Shell) y las tapas de un molino de bolas, fabricados generalmente de acero o materiales compuestos. Su función principal es proteger la estructura del molino del desgaste por la abrasión del mineral y las bolas, además de optimizar el movimiento de la carga para una molienda eficiente.

d) OEE (Overall Equipment Effectiveness – Eficacia General de los equipos)

Es un indicador que mide la eficiencia total de un equipo considerando disponibilidad, rendimiento y calidad. Permite identificar pérdidas en la producción y mejorar la utilización de los activos.

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

### Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

Se mencionarán las actividades de mantenimiento a los molinos de bolas y tiempos de mantenimiento:

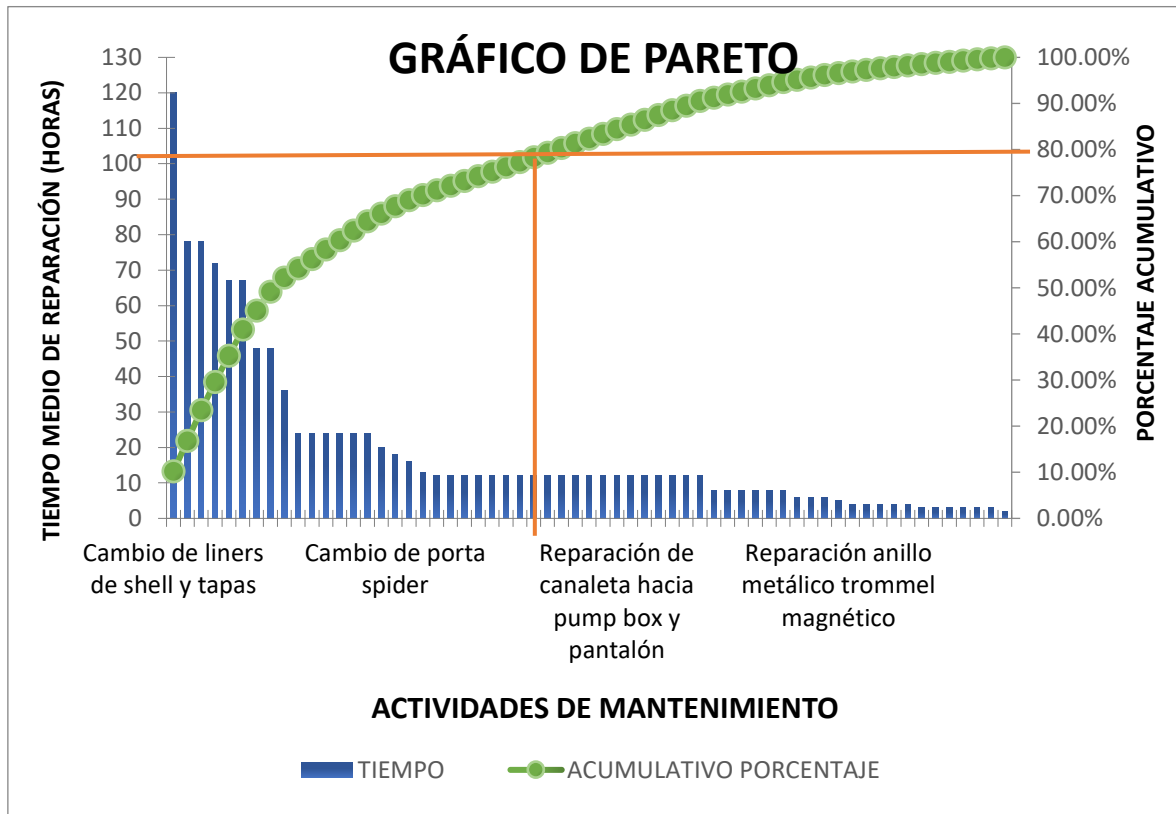
**Tabla 6**  
*Tablero de seguimiento de mantenimiento*

| ITEM | Actividad de Mantenimiento  | Duración trabajo en horas, (Incluido: limpieza, bloqueo, desbloqueo) | Porcentaje |
|------|---|--|------------|
| 1    | Cambio de liners de shell   | 120  | 10.20%     |
| 2    | Cambio liners filler ring   | 78   | 16.84%     |
| 3    | Reparación bucking rubber casco molino  | 78   | 23.47%     |
| 4    | Cambio trommel magnético  | 72   | 29.59%     |
| 5    | Cambio de liners de shell   | 67   | 35.29%     |
| 6    | Cambio de liners de tapas   | 67   | 40.99%     |
| 7    | Cambio tuberías línea de lubricación molino - Lado fijo                                 | 48   | 45.07%     |
| 8    | Cambio tuberías línea de lubricación molino - Lado flotante                             | 48   | 49.15%     |
| 9    | Cambio sello Yee y Vee Lado alimentación  | 36   | 52.21%     |
| 10   | Cambio 8 barredoras de trommel  | 24   | 54.25%     |
| 11   | Cambio anillo metálico trommel magnético  | 24   | 56.29%     |
| 12   | Cambio carro porta Chute  | 24   | 58.33%     |
| 13   | Cambio o mantenimiento tubería HDPE, tubería descarga chips + inspección colector chips | 24   | 60.37%     |
| 14   | Cambio trunnion liners de alimentación  | 24   | 62.41%     |
| 15   | Mantenimiento de la línea de alimentación de agua a chips 2" y 4"                       | 24   | 64.46%     |
| 16   | Cambio de línea descarga buckets  | 20   | 66.16%     |
| 17   | Cambio de porta spider  | 18   | 67.69%     |
| 18   | Cambio trunnion liners de descarga  | 16   | 69.05%     |
| 19   | Cambio de spider  | 13   | 70.15%     |
| 20   | Cambio de chute de alimentación   | 12   | 71.17%     |
| 21   | Cambio de dona housing  | 12   | 72.19%     |
| 22   | Cambio de inserto housing   | 12   | 73.21%     |
| 23   | Cambio de pernos rotos de shell y tapas   | 12   | 74.23%     |
| 24   | Cambio de sello cerámico  | 12   | 75.26%     |
| 25   | Cambio de sello de caucho   | 12   | 76.28%     |
| 26   | Cambio de válvulas línea alimentación de agua a molino                                  | 12   | 77.30%     |
| 27   | Giro de dona housing  | 12   | 78.32%     |
| 28   | Giro de inserto housing   | 12   | 79.34%     |
| 29   | Inspección, reparación, reforzamiento carro porta Chute                                 | 12   | 80.36%     |

|    |   |    |         |
|----|---|----|---------|
| 30 | Regulación de frenos  | 12 | 81.38%  |
| 31 | Reparación canaleta receptora de lodos  | 12 | 82.40%  |
| 32 | Reparación de canaleta chips, zaranda estática, cajón descarga molino                 | 12 | 83.42%  |
| 33 | Reparación de canaleta hacia pump box y pantalón                                      | 12 | 84.44%  |
| 34 | Reparación de chute de alimentación   | 12 | 85.46%  |
| 35 | Reparación de Housing   | 12 | 86.48%  |
| 36 | Reparación de trommel magnético   | 12 | 87.50%  |
| 37 | Retorqueo de liners de filler ring  | 12 | 88.52%  |
| 38 | Retorqueo de liners de shell  | 12 | 89.54%  |
| 39 | Retorqueo de liners de tapa   | 12 | 90.56%  |
| 40 | Cambio bomba PL624 - Lado fijo+ Limpieza válvula check                                | 8  | 91.24%  |
| 41 | Cambio bomba PL631 - Lado flotante+ Limpieza válvula check                            | 8  | 91.92%  |
| 42 | Cambio divisor 6 vías posición A - Lado fijo  | 8  | 92.60%  |
| 43 | Cambio divisor 6 vías posición A - Lado flotante                                      | 8  | 93.28%  |
| 44 | Inspección UT y escaneo de liners Shell   | 8  | 93.96%  |
| 45 | Inspección UT y escaneo de liners Tapas   | 8  | 94.64%  |
| 46 | Inspección, cambio de pernos rotor cover  | 6  | 95.15%  |
| 47 | Inspección de fisuras MCR 360°  | 6  | 95.66%  |
| 48 | Limpieza luz entre magneto y trommel magnético  | 6  | 96.17%  |
| 49 | Reparación anillo metálico trommel magnético  | 5  | 96.60%  |
| 50 | Cambio cajón buckets  | 4  | 96.94%  |
| 51 | Cambio de divisores de 2 vías norte - Lado fijo                                       | 4  | 97.28%  |
| 52 | Cambio de divisores de 2 vías norte - Lado flotante                                   | 4  | 97.62%  |
| 53 | Cambio de divisores de 2 vías sur - Lado fijo   | 4  | 97.96%  |
| 54 | Cambio de divisores de 2 vías sur - Lado flotante                                     | 4  | 98.30%  |
| 55 | Cambio acople bomba PL625 - Lado fijo+ Limpieza válvula check                         | 3  | 98.55%  |
| 56 | Cambio acople bomba PL631 - Lado flotante+ Limpieza válvula check                     | 3  | 98.81%  |
| 57 | Cambio válvula limitadora presión (válvula relief) de acumuladores descarga PL626-627 | 3  | 99.06%  |
| 58 | Inspección de fisuras rotor cover 180°  | 3  | 99.32%  |
| 59 | Recarga de nitrógeno - Lado fijo  | 3  | 99.57%  |
| 60 | Recarga de nitrógeno - Lado flotante  | 3  | 99.83%  |
| 61 | Ajuste tuercas tuberías sala de lubricación lado fijo y lado flotante                 | 2  | 100.00% |

*Nota. Seguimiento de molinos por Gestión de Equipos*

**Figura 20**  
*Pareto en la duración del mantenimiento al molino de bola*



Con el gráfico de Pareto se identifica que las primeras 29 actividades son el 80% de impacto a la disponibilidad del molino de bolas. Ahora de la relación para determinar la priorización de fallas de mantenimiento se realizará a través del diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife al Pareto obtenido. Con los cuales se trabajará en la tabla siguiente:

**Tabla 7**

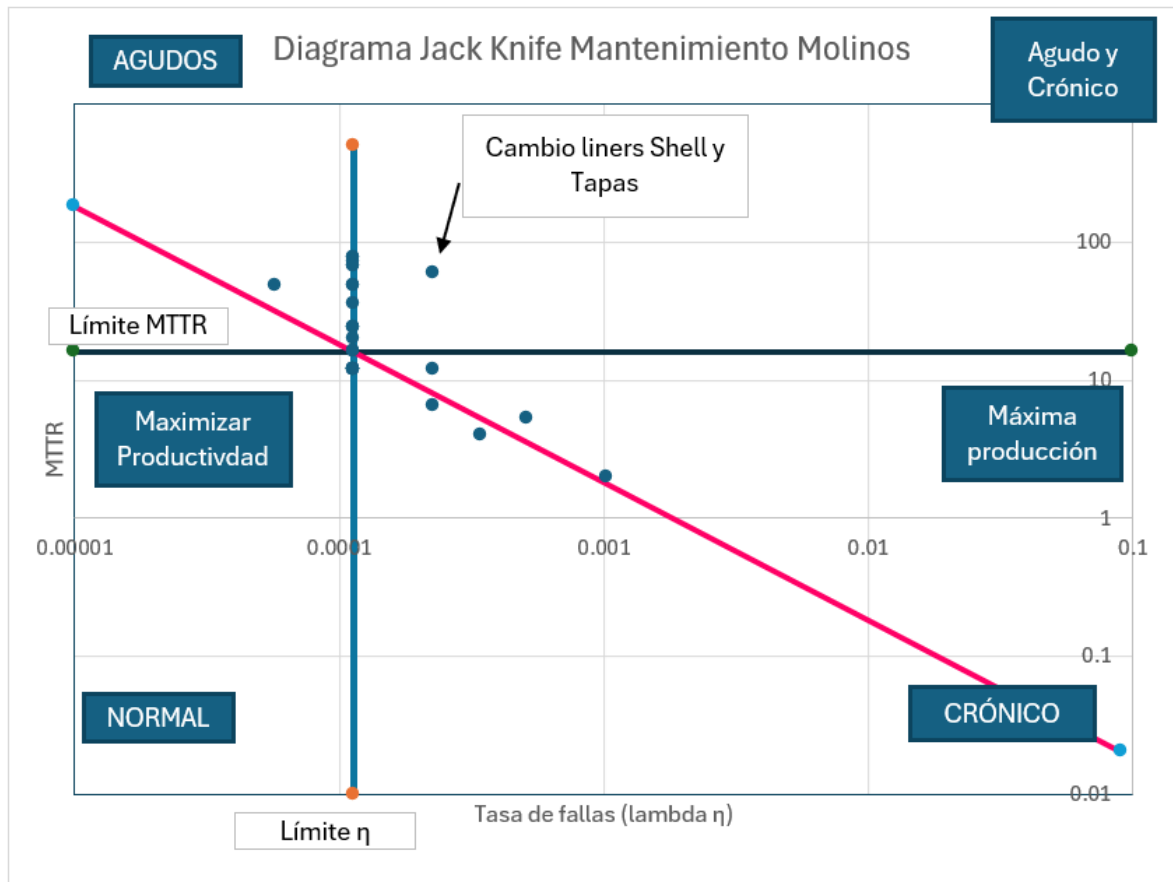
*Lista de 29 actividades aplicadas para el diagrama de Dispersión Jack Knife al mantenimiento de molino de bolas.*

| N° | Descripción   | Cantidad<br>(Fallas/año) | Duración<br>(horas) | X                   | Y            | Indisponibilidad<br>% |
|----|---|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------|-----------------------|
|    |   |                          |                     | Frecuencia<br>1/hrs | TFS<br>(Hrs) |                       |
| 1  | Cambio de liners de shell y tapas   | 2                        | 120                 | 0.000228311         | 60           | 0.01369863            |
| 2  | Cambio liners filler ring   | 1                        | 78                  | 0.000114155         | 78           | 0.00890411            |
| 3  | Reparación bucking rubber casco molino  | 1                        | 78                  | 0.000114155         | 78           | 0.00890411            |
| 4  | Cambio trommel magnético  | 1                        | 72                  | 0.000114155         | 72           | 0.008219178           |
| 5  | Cambio de liners de shell   | 1                        | 67                  | 0.000114155         | 67           | 0.007648402           |
| 6  | Cambio de liners de tapas   | 1                        | 67                  | 0.000114155         | 67           | 0.007648402           |
| 7  | Cambio tuberías línea de lubricación molino - Lado fijo                                 | 1                        | 48                  | 0.000114155         | 48           | 0.005479452           |
| 8  | Cambio tuberías línea de lubricación molino - Lado flotante                             | 1                        | 48                  | 0.000114155         | 48           | 0.005479452           |
| 9  | Cambio sello Yee y Vee Lado alimentación  | 1                        | 36                  | 0.000114155         | 36           | 0.004109589           |
| 10 | Cambio 8 barredoras de trommel  | 1                        | 24                  | 0.000114155         | 24           | 0.002739726           |
| 11 | Cambio anillo metálico trommel magnético  | 1                        | 24                  | 0.000114155         | 24           | 0.002739726           |
| 12 | Cambio carro porta Chute  | 0.5                      | 24                  | 5.70776E-05         | 48           | 0.002739726           |
| 13 | Cambio o mantenimiento tubería HDPE, tubería descarga chips + inspección colector chips | 1                        | 24                  | 0.000114155         | 24           | 0.002739726           |
| 14 | Cambio trunnion liners de alimentación  | 4.5                      | 24                  | 0.000513699         | 5.333333333  | 0.002739726           |

|          |   |   |     |             |     |             |
|----------|---|---|-----|-------------|-----|-------------|
| 15       | Mantenimiento de la línea de alimentación de agua a chips 2" y 4" | 2 | 24  | 0.000228311 | 12  | 0.002739726 |
| 16       | Cambio de línea descarga buckets                                  | 1 | 20  | 0.000114155 | 20  | 0.002283105 |
| 17       | Cambio de porta spider  | 9 | 18  | 0.001027397 | 2   | 0.002054795 |
| 18       | Cambio trunnion liners de descarga                                | 1 | 16  | 0.000114155 | 16  | 0.001826484 |
| 19       | Cambio de spider  | 2 | 13  | 0.000228311 | 6.5 | 0.001484018 |
| 20       | Cambio de chute de alimentación                                   | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 21       | Cambio de dona housing  | 3 | 12  | 0.000342466 | 4   | 0.001369863 |
| 22       | Cambio de inserto housing   | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 23       | Cambio de pernos rotos de shell y tapas                           | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 24       | Cambio de sello cerámico  | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 25       | Cambio de sello de caucho   | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 26       | Cambio de válvulas línea alimentación de agua a molino            | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 27       | Giro de dona housing  | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 28       | Giro de inserto housing   | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
| 29       | Inspección, reparación, reforzamiento carro porta Chute           | 1 | 12  | 0.000114155 | 12  | 0.001369863 |
|          |   |   | 945 | 0.000114155 | 16  | 0.001826484 |
| MEDIANAS |   |   |     |             |     |             |

**Figura 21**

Gráfico de Dispersión logarítmica Jack Knife al mantenimiento al molino de bolas



Se identifica que la actividad de cambio de revestimiento (liners) del cilindro y tapas es la actividad Aguda y Crónica respecto a los MTTR del molino de bolas siendo también la actividad de mayor duración con 120 horas, en el cual nos vamos a centrar para implementar el SMED.

### 3.1 Implementación del SMED

Para el desarrollo de la implementación de la metodología SMED se va a aplicar los 7 pasos descritos en la teoría.

#### 3.1.1 Preparación Previa

Para poder lograr una buena preparación se va a desarrollar la investigación y creación del equipo SMED.

a) Investigar

Se revisa los tipos de revestimientos que se cuentan para los molinos de bolas los cuales fueron descritos en la teoría.

b) Crear un equipo

Se desarrolla el equipo el cual se integra por las áreas de mantenimiento, planificación, gestión de equipos y la empresa contratista a ejecutar la actividad.

**3.1.2 Identificación y análisis del proceso a intervenir con SMED**

Con la relación de actividades y sus tiempos medios de reparación (MTTR) se determinó que el cambio de revestimientos del cuerpo y tapas del molino de bolas es la actividad más aguda y crónica, siendo esta actividad de una duración 120 horas.

**Tabla 8***Lista de actividades generales del enlainado de molinos*

| Nombre de la tarea                               | Duración   | Comienzo            | Fin                 | Predecesoras |
|--|------------|---------------------|---------------------|--------------|
| <b>CAMBIO DE REVESTIMIENTO COMPLETO ML - 401</b> | <b>120</b> | <b>lun 23/05/22</b> | <b>vie 27/05/22</b> |              |
| <b>Ejecución del trabajo</b>                     | <b>120</b> | <b>lun 23/05/22</b> | <b>vie 27/05/22</b> |              |
| LAVADO   | 2          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 2CC          |
| Bloqueo  | 2          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 3            |
| Retiro de chute                                  | 1.5        | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 4            |
| Retiro de guarda de descarga                     | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 4            |
| Sello caucho retiro                              | 2.5        | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 5            |
| Armado andamio descarga alimentación             | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 6            |
| Retiro magneto                                   | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 6            |
| Enlainado  | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 7            |
| Entorchado                                       | 1.5        | lun 23/05/22        | mar 24/05/22        | 10           |
| 1° posición - 1° giro                            | 15         | mar 24/05/22        | mar 24/05/22        | 11           |
| 2° Posición - 2° giro                            | 15         | mar 24/05/22        | mié 25/05/22        | 12           |
| 3° Posición - 3° giro                            | 15         | mié 25/05/22        | mié 25/05/22        | 13           |
| 4° Posición - 4° giro                            | 15         | mié 25/05/22        | jue 26/05/22        | 14           |
| 5° Posición                                      | 15         | jue 26/05/22        | jue 26/05/22        | 15           |
| 6° Posición                                      | 15         | jue 26/05/22        | jue 26/05/22        | 16           |
| Giro molino                                      | 1          | jue 26/05/22        | vie 27/05/22        | 17           |
| Retorqueo  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18           |
| Montaje Magneto                                  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18           |
| Retiro enlainadora                               | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18           |
| Giro molino                                      | 0.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 19           |
| Sello caucho instalación                         | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 20           |
| Retorqueo  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 20           |
| Giro molino                                      | 0.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 21           |
| Retorqueo  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 24           |
| Cierre Chute                                     | 1.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 22           |
| Giro molino                                      | 0.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 23           |
| Retorqueo  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 24           |
| Desbloqueo                                       | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 25           |
| Prueba hidrostática                              | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 26           |
| Desmontaje andamios                              | 1.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 30           |
| Instalación de guardas                           | 2          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 31           |

*Nota: Gantt inicial enlainado de molino de bolas*

### 3.1.3 Identificar y diferenciar actividades interno y externas

Se va a listar las actividades a realizar en el mantenimiento del cambio de revestimiento del cuerpo y tapas del molino de bolas con el cual se separan las actividades internas de las externas.

Las internas son todas las actividades por realizar con el equipo detenido, en este caso con el molino de bolas detenido.

Las actividades externas son todas las actividades que se puede desarrollar y ejecutar con el equipo en funcionamiento.

Dentro del proceso de un mantenimiento en la planta concentradora, hay 3 etapas, 1° previos que incluyen asignación de servicios a una empresa contratista, el recurso necesario tanto como herramientas especializadas como personal calificado, 2° ejecución donde se detalla la lista de actividades para el desarrollo del mantenimiento, post el cual se basa después del término de ejecución del servicio generando una mejora continua e incluyendo orden y limpieza.

Dentro de los previos vamos a ver primero todas las actividades que incluyen para poder asignar a una empresa contratista para el servicio de cambio de revestimiento del molino de bolas:

**Tabla 9**

*Lista de actividades para el servicio de cambio de revestimiento molino de bolas*

| N° | ETAPA         | Etapas<br>(Clasificación)  | TAREA   | Responsable             | Responsable<br>(Clasificación) |
|----|---------------|----------------------------|---|-------------------------|--------------------------------|
| 1  | Demanda       | Validación de Alcances     | Revisión de alcances y requisitos especificados por el cliente. | C. Yovera               | Indirecta                      |
| 2  | Demanda       | Validación de Alcances     | Elaboración de propuesta en base a alcances revisados.          | C. Yovera               | Indirecta                      |
| 3  | Demanda       | Otros                      | Aprobaciones internas.  | Jefaturas               | Indirecta                      |
| 4  | Demanda       | Otros                      | Envío de propuesta técnica-económica (Soporte de ventas).       | Mariana F.              | Indirecta                      |
| 5  | Demanda       | Identificación de PO y SWO | Emisión de OC del cliente.                                      | Cerro Verde             | Indirecta                      |
| 6  | Demanda       | Identificación de PO y SWO | Emisión de la SWO por parte de QOM de Metso                     | C. Yovera /C. Jaramillo | Indirecta                      |
| 7  | Planificación | Reuniones de Coordinación  | Reunión KOM interno y con el cliente                            | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa                        |

|    |               |                |  |                         |           |
|----|---------------|----------------|--|-------------------------|-----------|
| 8  | Planificación | Otros          | Creación de Carpeta para consolidación de Información en el SharePoint             | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 9  | Planificación | Otros          | Creación de Grupo de WhatsApp internos   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 10 | Planificación | Otros          | Solicitud de estrategia de atención.   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 11 | Planificación | Otros          | Elaborar requerimiento de personal. (Formato de requerimiento de personal)         | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 12 | Planificación | Otros          | Requerimiento de nombre y cargo de personal para servicio. Considerar stand by     | S. Jara                 | Indirecta |
| 13 | Planificación | Otros          | Se tiene definido a los supervisores y personal crítico                            | S. Jara                 | Indirecta |
| 14 | Planificación | Seguridad      | Elaboración de Procedimiento de trabajo.   | P. Veramendi            | Indirecta |
| 15 | Planificación | Seguridad      | Elaboración de Matriz IPERC.   | C. Agurto               | Indirecta |
| 16 | Planificación | Seguridad      | Revisión y aprobación de PET y IPERC por el área de seguridad Cerro V,             | C. Agurto               | Indirecta |
| 17 | Planificación | Seguridad      | Aprobación de documentación HSE  | C. Agurto               | Indirecta |
| 18 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todo el personal cuenta con examen médico?  | S. Jara                 | Indirecta |
| 19 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todo el personal con observación médica levanto estas observaciones?              | S. Jara                 | Indirecta |
| 20 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todo el personal tiene el apto medico de Cerro Verde?                             | S. Jara                 | Indirecta |
| 21 | Planificación | Habilitaciones | PR de Cursos de Inducción  | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 22 | Planificación | Habilitaciones | PO de Cursos de Inducción  | Giancarlo G.            | Indirecta |
| 23 | Cierre        | Otros          | Firma de CAS Cursos de Inducción   | S. Jara                 | Directa   |
| 24 | Planificación | Habilitaciones | Enviar lista para programación de inducciones                                      | S. Jara                 | Indirecta |
| 25 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todo el personal cuenta con Inducciones?  | S. Jara                 | Indirecta |
| 26 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todo el personal cuenta con curso de bloqueo?                                     | S. Jara                 | Indirecta |
| 27 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todo el personal cuenta con sus inducciones en el sistema de Cerro Verde?         | S. Jara                 | Indirecta |
| 28 | Planificación | Habilitaciones | ¿Todos los ingenieros de seguridad pasaron el proceso de homologación Cerro Verde? | S. Jara                 | Indirecta |
| 29 | Planificación | Seguridad      | ¿Todo personal cuenta con evaluación de Percepción al riesgo?                      | S. Jara                 | Indirecta |

|    |               |                        |  |                         |           |
|----|---------------|------------------------|--|-------------------------|-----------|
| 30 | Planificación | Habilitaciones         | Formato de solicitud de fotocheck  | S. Jara                 | Indirecta |
| 31 | Planificación | Habilitaciones         | Habilitación de conductores, operadores, rigger, operador montacarga otros. (de requerir). | S. Jara                 | Indirecta |
| 32 | Planificación | Habilitaciones         | Habilitación de subcontratistas (bus).   | C. Yovera /C. Jaramillo | Indirecta |
| 33 | Planificación | Logística              | Solicitud de formatos y documentos de seguridad propios del cliente.                       | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 34 | Planificación | Logística              | Impresión de documentos de seguridad   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 35 | Planificación | Otros                  | Elaborar Plan Operacional  | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 36 | Planificación | Otros                  | Presentar Plan Operacional   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 37 | Planificación | Logística              | PO de unidades externas, internas, camión.   | Giancarlo G.            | Indirecta |
| 38 | Planificación | Otros                  | ¿Se tiene los datos de los conductores?  | S. Jara                 | Indirecta |
| 39 | Planificación | Otros                  | ¿Se tiene la fecha de inspección de unidades por el área de protección interna?            | S. Jara                 | Indirecta |
| 40 | Planificación | Logística              | PR de alimentación (para viajes y servicio).   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 41 | Planificación | Logística              | PO de alimentación (para viajes y servicio).   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 42 | Planificación | Logística              | PR de servicios de terceros (de requerir).   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 43 | Planificación | Equipos y Herramientas | Requerimiento de herramientas, consumibles, epp y KIT Covid19                              | Brayan Q.               | Indirecta |
| 44 | Planificación | Equipos y Herramientas | Revisión en almacén de herramientas, consumibles y epp disponibles.                        | Brayan Q.               | Indirecta |
| 45 | Planificación | Equipos y Herramientas | PR de Herramientas   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 46 | Planificación | EPP y Consumibles      | PR consumables, Epp y KIT Covid19  | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 47 | Planificación | EPP y Consumibles      | PO de consumibles, epp y KIT Covid19   | Giancarlo G.            | Indirecta |
| 48 | Planificación | Equipos y Herramientas | PO de Herramientas   | Giancarlo G.            | Indirecta |
| 49 | Planificación | EPP y Consumibles      | Preparación de materiales a enviar y EPP   | Brayan Q.               | Indirecta |
| 50 | Planificación | EPP y Consumibles      | Enviar encuesta de EPP   | S. Jara                 | Indirecta |
| 51 | Planificación | EPP y Consumibles      | Verificar faltantes en base a la encuesta de EPP   | Brayan Q.               | Indirecta |

|    |               |                        |  |                         |           |
|----|---------------|------------------------|--|-------------------------|-----------|
| 52 | Planificación | EPP y Consumibles      | PR Delivery / Entrega de EPP y Kit COVID   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 53 | Planificación | EPP y Consumibles      | PO Delivery / Entrega de EPP y Kit COVID   | Giancarlo G.            | Directa   |
| 54 | Planificación | EPP y Consumibles      | Delivery / Entrega de EPP y Kit COVID  | S. Jara                 | Directa   |
| 55 | Planificación | Equipos y Herramientas | Verificación de herramientas, consumibles, fabricaciones. En Rio Seco                        | Brayan Q.               | Indirecta |
| 56 | Planificación | Equipos y Herramientas | Calibración de herramientas  | Brayan Q.               | Indirecta |
| 57 | Planificación | Otros                  | Elaboración de workpackage. (Documentos de seguridad, propuesta comercial y plan de trabajo) | S. Jara                 | Indirecta |
| 58 | Planificación | Habilitaciones         | Elaboración/solicitud tarjetas de bloqueo (doble tarjeta de bloqueo)                         | S. Jara                 | Indirecta |
| 59 | Planificación | Otros                  | Elaboración de códigos para candados de bloqueo (doble candado de bloqueo)                   | S. Jara                 | Indirecta |
| 60 | Planificación | EPP y Consumibles      | Verificación de que el personal cuente con todos sus Epp.                                    | Brayan Q.               | Indirecta |
| 61 | Planificación | Habilitaciones         | Entrega de fotocheck por parte de Cerro Verde  | S. Jara                 | Indirecta |
| 62 | Planificación | Contratos              | Emisión de contratos   | Amparo G.               | Indirecta |
| 63 | Planificación | Contratos              | Seguimiento Firma de contratos.  | S. Jara                 | Indirecta |
| 64 | Planificación | Otros                  | Elaborar un cuadro con las direcciones y referencias del personal                            | S. Jara                 | Indirecta |
| 65 | Planificación | Logística              | Solicitud de taxis para movilizar a personal   | S. Jara                 | Indirecta |
| 66 | Planificación | Logística              | Transporte de personal.  | S. Jara                 | Directa   |
| 67 | Planificación | Contratos              | Entrega de reporte de contratos a HR   | C. Yovera /C. Jaramillo | Indirecta |
| 68 | Planificación | Seguridad              | Difusión del procedimiento de TRABAJO  | C. Yovera /C. Jaramillo | Indirecta |
| 69 | Ejecución     | Ejecución              | Solicitud de horarios y lugar de alimentación  | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 70 | Ejecución     | Ejecución              | Planificación de horarios de transporte  | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 71 | Ejecución     | Otros                  | Reporte de Previos Operativo y de Seguridad  | C. Agurto               | Indirecta |
| 72 | Ejecución     | Otros                  | Entrega diaria de tareo  | M. Mendoza              | Indirecta |
| 73 | Ejecución     | Ejecución              | Emitir avance de trabajo diario  | M. Mendoza              | Directa   |
| 74 | Ejecución     | Otros                  | Elaboración diaria de formato de tareo para pago   | M. Mendoza              | Indirecta |
| 75 | Ejecución     | Otros                  | Post Parada.   | M. Mendoza              | Indirecta |
| 76 | Ejecución     | Otros                  | Revisión Final de tareos.  | Todos                   | Indirecta |

|    |           |                        |   |                         |           |
|----|-----------|------------------------|---|-------------------------|-----------|
| 77 | Ejecución | Ejecución              | Solicitud para control en Centro médico previo a la desmovilización               | S. Jara                 | Directa   |
| 78 | Ejecución | Ejecución              | Solicitud de transporte para desmovilización                                      | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 79 | Cierre    | Salud y Seguros        | Coordinación de pruebas COVID y desmovilización de personal a sus domicilios      | S. Jara                 | Indirecta |
| 80 | Cierre    | Otros                  | Completar firma de Bitácoras  | P. Veramendi            | Indirecta |
| 81 | Cierre    | Cierre                 | Emisión de tareas aprobados a Cost Controller                                     | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 82 | Cierre    | Otros                  | Emisión de informe de trabajo (incluye conclusiones para el cliente y para Metso) | M. Mendoza              | Indirecta |
| 83 | Cierre    | Equipos y Herramientas | Devolución de alquiler de herramientas y/o equipos                                | Brayan Q.               | Indirecta |
| 84 | Cierre    | Cierre                 | Valorización y cierre de servicio (elaboración de documentos de valorización)     | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 85 | Cierre    | Otros                  | Entrega de documentación físicos del servicio a document controller               | Jason P.                | Indirecta |
| 86 | Cierre    | Equipos y Herramientas | Inventario de almacén   | Brayan Q.               | Indirecta |
| 87 | Cierre    | Cierre                 | Reparación de herramientas y/o equipos  | Brayan Q.               | Directa   |
| 88 | Cierre    | Cierre                 | Lavado de ropa de trabajo y EPP   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 89 | Cierre    | Cierre                 | Firma de CAS por servicios brindados de proveedores.                              | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 90 | Cierre    | Cierre                 | Reporte de Costos   | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |
| 91 | Cierre    | Cierre                 | Reunión post parada PLUS & DELTA  | C. Yovera /C. Jaramillo | Directa   |

*Nota: servicio de METSO: Outotec cambio liners molinos de bolas servicio*

A continuación, se muestra la relación de actividades que se desarrollan durante la ejecución de cambio de revestimiento de molino de bolas.

**Tabla 10**

*Lista de actividades a ejecutar en el Gantt para el cambio de revestimiento de los molinos de bolas de 120 h.*

| Descripción                                   | Horas      | Inicio actividad    | Termino actividad   | Actividad predecesora |
|---|------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>CAMBIO REVESTIMIENTO COMPLETO ML - 401</b> | <b>120</b> | <b>lun 23/05/22</b> | <b>vie 27/05/22</b> |                       |
| <b>EJECUCIÓN DEL TRABAJO</b>                  | <b>120</b> | <b>lun 23/05/22</b> | <b>vie 27/05/22</b> |                       |
| LAVADO  | 2          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 2CC                   |
| Bloqueo                                       | 2          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 3                     |
| Retiro chute                                  | 1.5        | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 4                     |
| Retiro guarda descarga                        | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 4                     |
| Sello caucho retiro                           | 2.5        | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 5                     |
| Armado andamio descarga alimentación          | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 6                     |
| Retiro magneto                                | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 6                     |
| Enlainado                                     | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 7                     |
| Entorchado                                    | 1.5        | lun 23/05/22        | mar 24/05/22        | 10                    |
| 1° posición - 1° giro                         | 15         | mar 24/05/22        | mar 24/05/22        | 11                    |
| 2° Posición - 2° giro                         | 15         | mar 24/05/22        | mié 25/05/22        | 12                    |
| 3° Posición - 3° giro                         | 15         | mié 25/05/22        | mié 25/05/22        | 13                    |
| 4° Posición - 4° giro                         | 15         | mié 25/05/22        | jue 26/05/22        | 14                    |
| 5° Posición                                   | 15         | jue 26/05/22        | jue 26/05/22        | 15                    |
| 6° Posición                                   | 15         | jue 26/05/22        | jue 26/05/22        | 16                    |
| Giro molino                                   | 1          | jue 26/05/22        | vie 27/05/22        | 17                    |
| Retorqueo                                     | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18                    |
| Montaje Magneto                               | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18                    |
| Retiro enlainadora                            | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18                    |
| Giro molino                                   | 0.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 19                    |
| Instalación del sello caucho                  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 20                    |
| Retorqueo                                     | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 20                    |
| Giro molino                                   | 0.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 21                    |
| Retorqueo                                     | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 24                    |
| Cierre Chute                                  | 1.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 22                    |
| Giro molino                                   | 0.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 23                    |
| Retorqueo                                     | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 24                    |
| Desbloqueo                                    | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 25                    |
| Prueba hidrostática                           | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 26                    |
| Desmontaje andamios                           | 1.5        | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 30                    |
| Instalación de guardas                        | 2          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 31                    |

*Nota Gantt para el servicio del cambio de revestimiento de los molinos de bolas.*

### 3.1.4 Organizar actividades externas

Se muestra la relación de actividades externas los cuales se van a retirar del Gantt, de ejecución de la actividad de cambio de revestimiento de molinos de bolas debido que se realizará con el equipo detenido en la ejecución de previos de parada.

**Tabla 11**

*Relación de elementos de seguridad para el cambio de revestimiento del molino de bolas*

| Elementos de Seguridad   | Cantidad |
|--|----------|
| EPP elementales (botas, lentes, casco, protectores auditivos, guantes, mameluco, barbiquejos, chaleco) | 47       |
| Tarjetas de seguridad (40 personas x puntos de bloqueo grupal)   | 47       |
| Tarjetas de Fuera de Servicio  | 47       |
| Candados de seguridad (40 personas x puntos de bloqueo grupal)   | 100      |
| Pinzas para bloqueo de seguridad   | 5        |
| Cadenas para bloqueo de válvulas 1/4"  | 30 m     |
| Respirador para gases  | 5        |
| Respirador para humos  | 5        |
| Arnés de seguridad   | 16       |
| Línea de Vida + Amortiguador de caídas 2-1/2"  | 10       |
| Línea de Vida, sin amortiguador  | 10       |
| Extintores Polvo Químico   | 4        |
| Linternas para Casco   | 7        |
| Linterna de Mano   | 10       |
| Cono de seguridad  | 20       |
| Cinta roja de seguridad  | 2 rollos |
| Cinta amarilla de Seguridad  | 2 rollos |
| Letreros de Seguridad  | 3        |
| Lava Ojos  | 2        |
| Pizarras Acrílicas (1) y de Corcho (2)   | 3        |
| Caja de bloqueo grupal para molino   |          |
| Formatos de AST, Trabajo en Caliente, Trabajo en Altura, Trabajo en Espacios Confinados.               |          |
| Careta para Soldadura Eléctrica  | 4        |

*Nota: servicio de cambio de revestimiento de molino de bolas*

**Tabla 12***Lista de equipos para el cambio de revestimientos del molino de bolas*

| Equipos                                       | Cantidad | SMCV | FLUOR |
|---|----------|------|-------|
| Enlainadora – RME de 7 ejes                   | 1        | 1    | -     |
| Compresora 185CFM                             | 2        | -    | 2     |
| Montacargas de 5 TN                           | 1        | 1    | -     |
| Extractor de gases / mangas flexible y rígida | 2        | -    | 2     |
| Tecles manuales de 1 TN                       | 3        | 3    | -     |

*Nota: servicio de cambio de revestimiento de molino de bolas***Tabla 13***Lista de herramientas para el cambio de revestimientos del molino de bolas*

| Herramientas   | Cantidad | SMCV | FLUOR |
|--|----------|------|-------|
| ***Ajuste ***  |          |      |       |
| Llaves de impacto neumáticos, encastre de 1½ “               | 4        | -    | 2     |
| Dados 50mm, encastre 1½”                                     | 2        | -    | 2     |
| Dados 60mm, encastre 1½”                                     | 2        | -    | 2     |
| Dados 80mm, encastre 1½”                                     | 2        | -    | 2     |
| Seguro para dados de impacto                                 | 6        | 6    |       |
| Seguro para pistola de impacto                               | 3        | 3    |       |
| Unidad de Mantenimiento de Aire para herramientas de impacto | 2        |      |       |
| Manifold con 4 salidas de aire c/u                           | 2        | -    | 2     |
| Manguera para aire de alta, 20m – Fab. Wong                  | 8        | 8    | -     |
| Acoples de Garra   | 16       | 16   | -     |
| ***Izaje ***   |          |      |       |
| Estrobo acero (2 TN) de 3 m                                  | 6        | -    | 6     |
| Estrobo acero (4 TN) de 3 m                                  | 6        | -    | 6     |
| Estrobo de 2 Ramales Cadena de 3/8” x 3 m. para 5.5 Ton      | 3        | 3    |       |
| Grilletes de 5/8”  | 24       | 24   | -     |
| Grilletes de ¾”  | 24       | 24   | -     |
| Grilletes de 1”  | 12       | 12   | -     |
| Argollas (Cáncamo)   | 6        | 4    | -     |
| Eslingas 4Tn x * m   | 4        |      | 4     |
| Eslingas 2Tn x 3m – ojo/ojo                                  | 6        | 6    |       |
| Eslingas 2Tn x 3m – Sin fin                                  | 6        | 6    |       |
| Eslingas 3Tn x 3m – ojo/ojo                                  | 6        | 6    |       |
| Eslingas 3Tn x 3m – Sin fin                                  | 6        | 6    |       |
| Soga ¼” x 200 m  | 1 rollo  |      |       |
| Soga 1/2” x 200 m  | 1 rollo  |      |       |
| ***Golpe-Desgaste ***  |          |      |       |
| Barretas de 1.8 m. Stanley 2-1/2” Ton                        | 5        | 5    |       |
| Escobillas de acero  | 8        | 8    | -     |

|   |     |     |   |
|---|-----|-----|---|
| Comba de 16 lb  | 3   | 3   | - |
| Comba de 8 lb   | 2   | 2   | - |
| ***Otros ***  |     |     |   |
| Escaleras 4m para trabajo de armado de liners (interior del molino) | 4   | 4   | - |
| Wincha 3m.  | 6   | 6   |   |
| Caja con kit de herramientas de mano                                | 2   |     |   |
| Caja para herramientas y varios                                     | 2   |     |   |
| Cuchillos para corte de Jebe  | 4   |     |   |
| Pintura indicadora en aerosol (para identificar pernos torqueados)  |     |     |   |
| Extensiones de Corriente Industrial con toma de corriente           | 4   |     |   |
| Andamios (Provisos por Fluor)                                       | *   | -   | * |
| Luminarias de Hg (interior del molino)                              | 4   | 4   | - |
| Luminarias Portátiles con Generador                                 | 2   |     |   |
| Lámparas Halógenas con soporte                                      | 7   | 7   | - |
| Lámparas Halógenas sin soporte                                      | 5   | 5   | - |
| Cilindros vacíos para desechos.                                     | 12  | 4   | - |
| Tacos de Madera 4"x4" x 1 m.  | 100 | 100 |   |
| Plancha de Acero A36 1/2" (120 cm x 240 cm)                         | 2   |     |   |

*Nota: servicio cambio de revestimiento molino de bolas*

**Tabla 14**

*Lista de materiales para el cambio de revestimientos del molino de bolas*

| Ítem | Descripción                             | N/P          | Cantidad |
|------|---|--------------|----------|
| 1    | Feed end trunnion liners                | Z-10515-01-V | 6        |
| 2    | Inner feed head liner                   | Z-10516-01-V | 10       |
| 3    | Outer head liner                        | Z-10517-01-V | 40       |
| 4    | Filler ring                             | Z-10518-01-V | 40       |
| 5    | Feed end shell liner                    | Z-10519-01-V | 24       |
| 6    | Middle shell liner                      | Z-10520-01-V | 72       |
| 7    | Discharge end shell liner               | Z-10521-01-V | 24       |
| 8    | Inner discharge head liner              | Z-10522-01-V | 10       |
| 9    | ME Elemental rubber wedgit (60" strips) | HB-5510-06   | 173      |
| 10   | Rubber 6mm                              |              |          |

*Nota: servicio cambio de revestimiento molino de bolas*

**Tabla 15**

*Lista de elementos de sujeción para el cambio de revestimientos del molino de bolas*

| Ítem | Descripción         | Pernos     | Tuercas | Arandelas forjadas y caucho | Cantidad |
|------|---------------------|------------|---------|-----------------------------|----------|
| 1    | Head liner bolt     | 2"X13"     | 2"      | 2"                          | 170      |
| 2    | Shell liner bolt    | 2"X10-3/4" | 2"      | 2"                          | 480      |
| 3    | Trunnion liner bolt | 1½"x8½"    | 1½"     | 1½"                         | 12       |
| 4    | Filler Ring Bolt    | 1¼"        | 1¼"     | 1¼"                         | 40       |

*Nota: servicio cambio de revestimiento molino de bolas*

Con dicha relación se dimensiona el recurso necesario, el personal especializado requerido y la duración de la actividad para ejecutar todo durante los previos.

Con la relación de las herramientas y facilidades necesarias para la intervención de los equipos se genera un plan de acción con un responsable y plazo para absolver la necesidad identificada durante los previos de la parada de línea del molino de bolas.

**Tabla 16**

*Lista de herramientas para el cambio de revestimientos del molino de bolas*

**HERRAMIENTAS PARA ENLAINADO DE MOLINOS ML-101 Y ML-301**

| N° | Cantidad x Molino | TOTAL | HERRAMIENTA                                  | OPERATIVO |                          | POR REPARAR |           | FALTANTE |                   | COMENTARIO   | PLAZO     | %    |
|----|-------------------|-------|--|-----------|--------------------------|-------------|-----------|----------|-------------------|--|-----------|------|
|    |                   |       |  | CANT      | ESTADO                   | CANT        | ENCARGADO | CANT     | ENCARGADO         |  |           |      |
| 1  | 10                | 20    | Pistola de impacto de encastre 1 1/2"        | 11        | Ingersol                 |             |           | 5<br>4   | METSO<br>C1       | METSO Traen 5. Millward coordinar préstamo de 4 más con C1.  | JUEVES 25 | 80%  |
| 2  | 10                | 20    | Dados 3 1/8" encastre 1 1/2"                 | 11        | OK                       |             |           | 9        | METSO             | ✓  |           | 100% |
|    |                   |       | Dados 3 1/16" encastre 1 1/2"                | 2         | OK                       |             |           |          |                   |  |           |      |
| 3  | 4                 | 8     | Dados Cardánicos encastre 1 1/2"             | 4         | OK                       |             |           | 4        | METSO             | ✓  |           | 100% |
| 4  | 12                | 24    | Lubricadores (chanchito)                     | 10<br>10  | ARMADOS<br>EN PROCESO    |             |           |          |                   | ✓  |           | 100% |
| 5  | 2                 | 4     | Pistola eléctrica RAD                        | 4         | POR CALIBRAR (Energotec) |             |           |          | Roy Quispe        | Programar la calibración. Se realizará cuando venga ENERGOTEC.   | LUNES 22  | 100% |
| 6  | 2                 | 4     | Brazo palanca de pistola eléctrica RAD       | 2         | OK                       |             |           | 2        | Millward Gonzales | Soporte Millward para alquiler CORREO. Se generará la PR el jueves. Generar el pedido de herramienta. SE CONSIGUIO 1 de C1 | MARTES 16 | 75%  |
| 7  | 6                 | 12    | Patilladoras neumáticas 1 1/4" (para liners) | 6         | OK                       |             |           | 6        | METSO             | ✓  |           | 100% |
| 8  | 4                 | 13    | Puntas de patilladoras 1 1/4"                | 5         |                          |             |           | 8        | METSO             | ✓  |           | 100% |

|    |   |   |   |   |    |   |   |                   |   |           |      |
|----|---|---|---|---|----|---|---|-------------------|---|-----------|------|
| 9  | 2 | 4 | Patilladoras neumáticas 1" (para pernos)  | 2 |    |   | 2 | Millward Gonzales | préstamo C1, evaluar alternativa METSO (ENERGOTEC - herramienta prueba) | MARTES 16 | 100% |
| 10 | 2 | 4 | Puntas de patilladoras 1"                 | 0 |    |   | 4 | METSO             | ✓   |           | 100% |
| 11 | 4 | 8 | Martillo hidráulico Thunderbolt           | 4 | OK |   | 4 | Millward Gonzales | Préstamo 4 con C1. SE CONSIGUIERON 2                                    | MARTES 16 | 75%  |
| 12 | 4 | 6 | Power Pack Thunderbolt                    | 3 | OK | 1 | 2 | METSO             | PRESTAMOS DE 2 POR C1. FALTA INSPECCIONAR POR METSO                     | MARTES 16 | 100% |
| 13 | 2 | 4 | Botadores de Thunderbolt 750J punta larga | 4 | OK |   |   |                   | ✓   |           | 100% |
| 14 | 2 | 6 | Botadores de Thunderbolt 750J punta corta | 3 | OK |   | 3 | Millward Gonzales | Préstamo 3 con C1   | MARTES 16 | 100% |
| 15 | 3 | 6 | Mangueras Hidráulicas para Thunderbolt    |   |    |   | 2 | Millward Gonzales | En proceso de migración. Se pedirá préstamo a C1.                       | MARTES 16 | 33%  |
| 16 | - | 3 | Montacargas                               | 1 | OK |   | 2 | METSO             | METSO traen 2, MILWARD coordinar préstamo 1 con C1 en patio Abengoa     | LUNES 29  | 33%  |
| 17 | 1 | 2 | Enlainadora 1                             | 1 |    | 1 |   | METSO             | Tuercas sujeción Control carrito porta liner                            | OPERATIVO | 100% |
|    |   |   | Enlainadora 3                             |   |    | 2 |   | Roy Quispe        | Mandos malogrados E/I   | OPERATIVO | 100% |
|    |   |   |   |   |    |   |   | Roy Quispe        | Programar revisión de repuestos de enlainadora de C1 con el de C2       | JUEVES 11 | 0%   |
| 18 | 2 | 4 | Manifold                                  | 2 | OK |   | 2 | METSO             | ✓   |           | 100% |
| 19 | 2 | 4 | Equipo Oxicorte                           |   |    |   | 4 | METSO             | ✓   |           | 100% |

|    |    |    |  |    |                            |   |              |    |                   |                          |  |           |      |
|----|----|----|--|----|----------------------------|---|--------------|----|-------------------|--------------------------|--|-----------|------|
| 20 | 1  | 2  | Equipo oxiflame                        |    |                            |   |              | 2  | METSO             | ✓                        |  | 100%      |      |
| 21 | 15 | 30 | LANZAS TERMICAS                        |    |                            |   |              | 30 | METSO             | ✓                        |  | 100%      |      |
| 22 | 6  | 12 | Balones de oxígeno                     | 2  | OK                         |   |              | 10 | Roy Quispe        | ✓                        | VIERNES 19   | 100%      |      |
| 23 | 2  | 4  | Balones de acetileno                   | 2  | OK                         |   |              | 4  | Roy Quispe        | ✓                        | VIERNES 19   | 100%      |      |
| 24 | 2  | 2  | Tecla neumático cadena larga 1/2 TON   | 2  | OK                         |   |              |    |                   |                          | Programar para armar en previos con mandos nuevos. Se realizará con METSO. | MARTES 16 | 100% |
| 25 | 2  | 2  | Trolley 5 TN, viga de 6                | 2  | molino 1                   | 3 | Falta Cadena |    | METSO             | CONFIRMAR FUNCIONAMIENTO |  | MARTES 16 | 100% |
|    |    |    |  | 0  | molino 3                   |   |              |    |                   |                          | La actividad se realizará con puente grúa                                  |           |      |
| 26 | 1  | 3  | Extractores de aire (corneta)          | 2  | 1 neumático<br>1 eléctrico |   |              | 1  | METSO             | ✓                        |  | 100%      |      |
| 27 | 2  | 4  | Pines apoyo cabezal                    | 4  | OK original                |   |              |    |                   |                          |  | 100%      |      |
| 28 | 1  | 2  | Machina para desmontaje de liner       |    |                            |   |              | 2  | METSO             | ✓                        |  | 100%      |      |
| 29 | 1  | 6  | Cadena con gancho para izaje           | 6  | OK                         |   |              |    |                   |                          |  | 100%      |      |
| 30 | 2  | 4  | Cadena para volteo, pulpo de 2 ramales | 2  | OK                         |   |              | 2  | Millward Gonzales | Préstamo 2 con C1        | MARTES 16  | 100%      |      |
| 31 | 4  | 8  | Tijera de izaje para liner             | 10 | OK                         |   |              |    |                   |                          |  | 100%      |      |
| 32 | 2  | 4  | Tijera de izaje para filer ring        | 4  | OK                         |   |              |    |                   |                          |  | 100%      |      |
| 33 | 2  | 4  | Extensiones eléctricas para llave rad  | 1  | OK                         |   |              | 3  | Elard Dueñas      | FALTA 2                  | MARTES 16  | 50%       |      |
| 34 | 4  | 10 | Botadores de pernos                    | 2  | OK                         |   |              | 8  | METSO             | ✓                        |  | 100%      |      |
| 35 | 1  | 2  | Malla para tapar ingreso al molino     | 1  | OK                         |   |              | 1  | METSO             | ✓                        |  | 100%      |      |
| 36 | 2  | 4  | T-MAG 1, guiador magnético             | 2  | OK                         |   |              | 2  | Millward Gonzales | Préstamo 2 con C1        | MARTES 16  | 100%      |      |
| 37 | 2  | 4  | T-MAG 2, guiador magnético             | 5  | OK                         |   |              |    |                   |                          |  | 100%      |      |

|    |    |    |   |    |    |                         |                     |   |                     |
|----|----|----|---|----|----|-------------------------|---------------------|---|---------------------|
| 38 | 2  | 4  | .   | 0  |    | 4                       | METSO               | √   | 100%                |
| 39 | 12 | 24 | Mangueras neumáticas 3/4 * 15 m           | 24 | OK |                         |                     |   | 100%                |
| 41 |    |    | Wedgit 4mm y 6mm                          |    |    |                         | Jorge Pérez         | Correo prioridad, está en compra llega en 15 días (8 agosto inicio), confirmar con H. Zegarra<br>Caso contrario se trabajará con 8mm y 10 mm. | CANCELADO<br>0%     |
| 42 | 1  | 2  | Machina para retiro del filler ring       | 1  | 1  | Falta pin y ángulo tope | Roy Quispe Henry Z. | Servicio levantamiento medida y fabricación de accesorios, empresa sugerida PRODISE Consultar con Prodise que fueron los fabricantes          | 100%                |
| 45 |    |    | LINERS                                    |    |    |                         | Elard Dueñas        | Revisión si contamos con la cantidad requerida y distribución en campo. Se culminó con liners del ML-101. Pendiente ML-301.                   | MARTES 16<br>50%    |
| 45 |    |    | PERNOS FILLER RING                        |    |    |                         | Elard Dueñas        |   | VIERNES 29<br>0%    |
| 45 |    |    | PERNOS SUJECCIÓN LINERS MOLINOS           |    |    |                         | Elard Dueñas        |   | VIERNES 29<br>0%    |
| 46 |    |    | ARANDELAS SUJECCIÓN PERNOS LINERS MOLINOS |    |    |                         | Elard Dueñas        |   | VIERNES 29<br>0%    |
|    |    |    |   |    |    |                         |                     | AVANCE  | MIERCOLES 17<br>89% |

Nota: servicio cambio de revestimiento molino de bolas

### 3.1.5 Externalización de tareas internas

De la lista de actividades internas que aún se mantiene, se va a evaluar que se requiere para que dichas actividades se puedan convertir de manera externa, puede ser con soporte fabricaciones de plataformas para eliminar andamios o ingeniería de herramientas adicionales entre otros.

Como actividades de mayor impacto se identifican la cantidad de posiciones y giros de los molinos de bolas.

**Tabla 17**

*Tabla de giros y posiciones del molino de bolas para su cambio de revestimientos del molino de bolas*

|             | Ángulo de giro (°) | Cantidad filas de Shell Liners | Cantidad de Filas de Tapas (Outer) | Cantidad de Filas de Tapas (Inner) | Cantidad Trunnion Liners | Observación     |
|-------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Posición 1  | 0                  | 4                              |                                    |                                    |                          | Sentido Horario |
| Posición 2  | 180                | 4                              |                                    |                                    |                          |                 |
| Posición 3  | 90                 | 4                              |                                    |                                    |                          |                 |
| Posición 4  | 180                | 4                              |                                    |                                    |                          |                 |
| Posición 5  | 45                 | 2                              |                                    |                                    |                          | Sentido Horario |
| Posición 6  | 180                | 2                              |                                    |                                    |                          |                 |
| Posición 7  | 90                 | 2                              |                                    |                                    |                          |                 |
| Posición 8  | 180                | 2                              |                                    |                                    |                          |                 |
| Posición 9  | 0                  |                                | 20                                 | 6                                  |                          | Sin Giro        |
| Posición 10 | 90                 |                                | 8                                  | 6                                  |                          |                 |
| Posición 11 | 90                 |                                | 12                                 | 8                                  |                          |                 |
| Posición 12 | 0                  |                                |                                    |                                    | 2                        | Sin Giro        |
| Posición 13 | 120                |                                |                                    |                                    | 2                        |                 |
| Posición 14 | 120                |                                |                                    |                                    | 2                        |                 |
| Total       | 11 giros           | 24                             | 40                                 | 20                                 | 6                        |                 |

*Nota: servicio cambio de revestimiento molino de bolas*

Total, de Giros considerados al inicio de las actividades se desarrollan en 14 posiciones con 11 giros al molino de bolas, con sentido horario, y el ángulo de giro a considerar según la tabla anterior de giros y posiciones.

Los cuales se van a considerar los frentes de trabajo, zona inferior del cilindro, zona inferior de las tapas, el cual será ejecutado en turnos de 12 horas, cantidad total de liners a cambiar 226, incluye 24 filas de Shell liners, 40 filas de Outer Liners, 20 filas del Inner Liners, 40 filas de Filler liners y 6 Trunnion Liners, cantidad total de personas 702, duración estimada de la actividad considerando 120 horas, incluyendo limpieza, cambio de liners, retorqueo de las tuercas, las cuales serán marcadas con plumón blanco indeleble.

Para continuar con pasar las actividades internas a externas, se va a describir todas las actividades externas a detalle con los cuales se lograrán reducir los tiempos de intervención.

a) Durante el mes anterior

Marcar todos los liners a usar para su fácil reconocimiento en campo y movilización, seleccionar los pernos, tuercas y arandelas de acuerdo a las medidas y también ubicarlos en los lugares de trabajo en diferentes envases como cilindros por colores, para su rápida identificación, visita del área de influencia para levantar toda observación identificada de seguridad en el campo respecto al trabajo a desarrollar tanto mantenimiento mecánico, mantenimiento eléctrico y de operaciones, desarrollar y capacitar al personal involucrado tanto técnicamente como en las políticas seguridad que son las 15 reglas vida, de los cuales solo están involucrados bloqueo (LOTOTO), demarcación y señalización, trabajo en caliente, trabajo en altura, trabajo en espacio confinado; adicional acreditar al personal, entrenar y obtener autorización del personal el cual va a dar servicio; los cuales son: para operar la enlainadora con Luis A. Maque, Johnny Condori, Marcos Gutiérrez, Christian Ramos., operador de montacargas, solicitar la reserva de materiales por planificación, también verificar en almacén el listado total de materiales disponibles en el inventario. Generar pedidos de órdenes de compra directa de ítems no inventariados o incompletos,

coordinar con las empresas Fluor, GyM y Metso el préstamo de equipos y herramientas faltantes.

b) Semana anterior

Verificar todos los liners, tanto la cantidad, el pintado y verificar el buen estado de sus parihuelas para poder realizar el traslado al punto de paso. Verificar todos los pernos, cantidad, pintado y la limpieza de los mismo con su traslado al punto de paso. Verificar de la misma manera las tuercas y arandelas; cantidad y limpieza de los mismo con su traslado al punto de paso. Verifica en el campo el buen estado y su operatividad de los equipos prestados por Fluor, GyM y Metso. Solicitar contenedor o cajas metálicas para guardar todos los equipos y herramientas a utilizar en las actividades del cambio de liners de molinos de bolas. Preparar el área de paso para ordenar todos los liners, también seleccionar el lugar sugerido del lugar de estacionamiento de los equipos como enlainadora o equipos livianos. Limpieza de acceso para el montacargas, puente vehicular, espacio entre el molino a intervenir, fijar o retirar rieles del chute de alimentación del molino de bolas, limpiar plataforma de acceso a los molinos.

c) Dos días antes

Inspeccionar las herramientas a utilizar, inspeccionar la enlainadora, niveles de aceite, filtros, sistemas de controles, sistema hidráulico con sus líneas hidráulicas, sistema de luces, cables eléctricos y sus conexiones. Inspeccionar los 2 martillos hidráulicos. Inspeccionar las luminarias instaladas y las conexiones eléctricas de la planta. Inspeccionar las compresoras de aire, manifold y mangueras (compresoras proporcionadas por Fluor u otro proveedor). Inspeccionar el montacargas (1 proporcionado por Fluor u otro proveedor y 1 por la planta minera). Instalar la compresora, los manifold y las mangueras para estar seguros de su funcionalidad. Instalar las líneas de vida. Verificar la correcta modulación de la instalación de andamios en parte inferior y tapas a acorde la necesidad de la tarea. Instalar los cables de acero como estrobos, para suspender las llaves neumáticas y tecles brindados por la planta minera. Realizar la identificación y pintado de las arandelas y pernos de los liners del trunnion (1 ½")

d) El día anterior

Reunión con gerencia para la revisión del programa final, la aprobación definitiva del Procedimiento Operativo Específico (POE) o también escrito como PETS (Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro). La exposición del PETS con los participantes del personal participante de planta minera. Elaboración del ATS del trabajo. Aproximar la enlainadora al punto de trabajo. Aproximar los extractores de gases cerca al molino de bolas.

e) El día del trabajo

Al inicio del trabajo se deben trasladar las herramientas manuales, escaleras cerca al Molino de bolas. Asegurar suministro de combustible para montacargas y compresoras.

f) Lista de actividades por giro

El proceso de enlainado inicia con el bloqueo y señalización del molino en posición de trabajo (0°). Se posiciona la máquina enlainadora y se instalan los sistemas de izaje neumático en el monorriel. Tras lavar y evaluar el estado de los backing rubber (reparándolos si presentan deterioro), se preparan los agujeros para los pernos mediante limpieza con escobillas metálicas. El montaje de los liners nuevos en la Posición 1 sigue una secuencia específica: los componentes son transportados mediante montacargas hasta la enlainadora, que los ubica en su posición definitiva. Los pernos se insertan sin forzar para evitar daños en las rocas, se colocan arandelas y tuercas, y finalmente se ajustan con el torque establecido.

Durante el proceso, se mantiene el equilibrio de la carga al girar el molino a las posiciones 180° y 360°, repitiendo el procedimiento. Los liners de las tapas se instalan al final. Una vez completado el cambio, se retiran herramientas y equipos, se realiza una inspección final por el líder del equipo y, tras la aprobación del supervisor, se libera el área y se entrega el equipo a Operaciones.

Nota: Todas las actividades requieren bloqueos energéticos y cumplimiento de protocolos de seguridad.

### 3.1.6 Optimización de la duración de las tareas internas

Con la primera separación de actividades internas y externas se lograron reducir 120 horas de mantenimiento, luego al convertir actividades internas a externas se lograron reducir a 67 horas de mantenimiento. Ahora continuar con la optimización del tiempo de reparación del cambio de revestimiento del molino de bolas se va a mejorar la estrategia de intervención reduciendo los tiempos de las actividades internas con los cuales serán:

#### A) Posicionamiento del personal a intervenir

De todo el personal asignado tanto en TA y TB se va a distribuir estratégicamente dentro y fuera del molino de bolas en situaciones de cambio y limpieza de los revestimientos del molino de bolas.

**Tabla 18**  
**Relación de personal a intervenir en el cambio de revestimientos del molino de bolas**

| RELACION DEL PERSONAL PARA ENLAINADO MOLINO # 1 |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
|   | Turno día        | Turno noche      |
|   | Percy            |                  |
| Supervisión Senior                              | Valderrama       | Marco Mendoza    |
| Supervicion                                     | Luis Cervantes   | Alberto Maque    |
| Supervicion                                     |                  |                  |
| Seguridad                                       | Johny Ito        | Juan Sulca       |
| Op. Enlainador                                  | Marcos Gutierrez | Jonny Condori    |
| Op. Montacarga                                  | Cristian Ruiz    | Ivan Guzman      |
| Op Carro Enlainador                             | Javier Berrocal  | Cristian Ramos   |
|   | Maicol           |                  |
|   | Fernandez        | Jainor Macedo    |
| Op. Puente Grúa                                 | Yunior Umiyauri  | Ángel Santillán  |
| Op. Reeger                                      | Carlos Sahuanay  | Raúl Vera        |
| Señaleros                                       |                  |                  |
| Montacarga                                      | Cesar Yanarico   | Reinaldo Mamani  |
|   | Fredy Huaman     | Caser Labra      |
|   | Fredy Charca     | Angel Ilachoque  |
| Mecanicos al                                    | Paul Ramos       | Edgar Huchuiroma |
| Interior del                                    | Juan Colqui      | Milton Poma      |
| Molinos   | Jimmy Melo       | Alonzo Zavala    |
|   | Javier Guzman    | Jimmy Vargas     |
| Mecanicos al                                    | Edmundo Chullo   | Percy Camacho    |
| Exterior del                                    | Cesar Peralta    | Carlos Luis      |
| Molinos   | Jeison Tone      | Ruben Licas      |
|   | Gregorio Mamani  | Oswaldo Choque   |

|                        |                     |                   |
|------------------------|---------------------|-------------------|
|                        | Olaf Sullca         | Jorge Santiago    |
|                        | Yhelsin Espíritu    | José Farfan       |
|                        | Yorman Baca         | Erick Ore         |
|                        | David Huisa         | Darril Gallo      |
|                        | Augusto<br>Gonzales | Rivelino Castillo |
|                        | Danny Ríos          | Jairo Flores      |
| Armador                | William Olortegui   | Miguel Aguirre    |
|                        |                     | Germson           |
|                        | Elvis Coaquira      | Amasifuen         |
|                        | Victor              |                   |
| Torchador              | Carhuavilca         | Héctor Huahuala   |
|                        | Marco               |                   |
|                        | Guadalupe           | Renato Viveros    |
| Mecanico Lider         | Darwin Rodríguez    | Freddy Ota        |
| Contr. Tiempos         | Orlando Quispe      | George Suñiga     |
| Personal Electricistas | Fredy Condori       | Akiles Mendoza    |
| e Instrumentistas      | Frank Horna         | Mauricio Diaz     |

*Nota: servicio cambio de revestimiento molino de bolas*

#### B) Posicionamiento de los revestimientos

Se va a posicionar estratégicamente los revestimientos en el espacio posterior al chute de transferencia de los molinos de bolas para dar espacio para que el montacargas circule y el equipo enlainadora pueda operar correctamente.

#### C) Recorrido del montacargas durante el cambio de revestimiento

Con la distribución correcta de los revestimientos del molino de bolas se desarrolla el recorrido del montacargas tanto para retirar los revestimientos viejos en parihuelas como cargar y posicionar sobre la máquina enlainadora los revestimientos nuevos para continuar con el cambio.

#### D) Giros del molino de bolas

Para lograr un buen cambio se determina los giros y la duración al término de cada actividad para que todo el personal esté atento para desbloquear el molino de bolas y así poder dar pase al cuarto de control el giro controlado del molino de bolas manteniendo todos los controles de seguridad sin exposición al personal que está ejecutando la actividad.

### 3.1.7 Reali

#### zar seguimiento

Con el seguimiento de cada parte de la aplicación del SMED se visualiza en el siguiente cuadro como se va optimizando cada etapa de su implementación al cambio de revestimientos de los molinos de bolas.

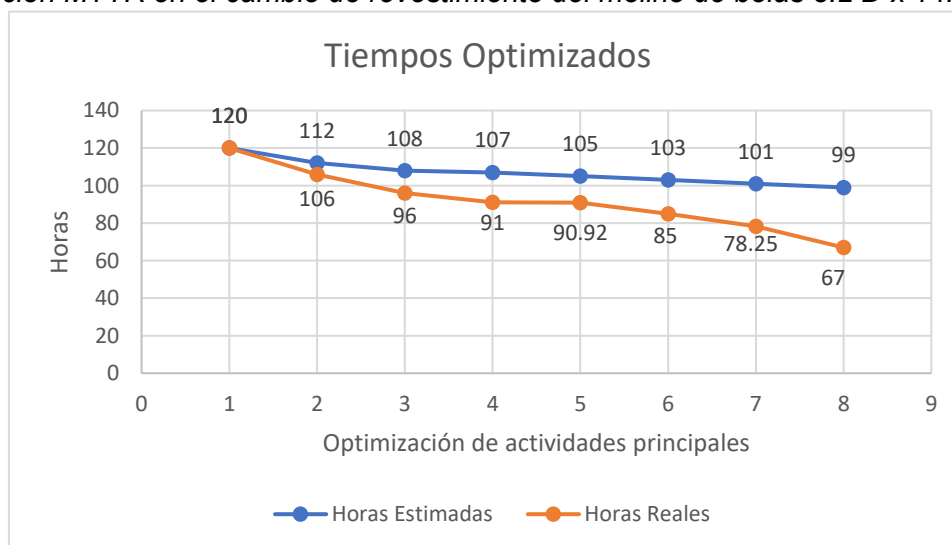
**Tabla 19**  
*Relación de actividades a optimizar para el cambio de revestimientos del molino de bolas*

| Nº | ACTIVIDAD  | Horas Estimadas | Horas Reales |
|----|--|-----------------|--------------|
| 1  | Molino Cambio de liners  | 120             | 120          |
| 2  | Implementación Plataformas para el Anillo # lado Norte y Sur         | 112             | 106          |
| 3  | Implementación Plataformas para las tapas de alimentación y descarga | 108             | 96           |
| 4  | Implementación de puntos de anclaje                                  | 107             | 91           |
| 5  | Adquirir 02 pistolas RAD adicionales                                 | 105             | 90.92        |
| 6  | Implementar un nuevo procedimiento cambio de liners (05 giros)       | 103             | 85           |
| 7  | Adquirir herramientas para el retiro de los liners atrapados         | 101             | 78.25        |
| 8  | Implementación de los monorrieles en todos los molinos               | 99              | 67           |

*Nota: OKR 2022 planta confiable C2 cambio de revestimiento molino de bolas*

**Figura 22**

*Reducción MTTR en el cambio de revestimiento del molino de bolas 8.2 D x 14.6 m*



*Nota: Presentación del enlainado del molino de bolas ML201, 17 junio 2022.*

Con la reducción del MTTR a 67 horas se genera un impacto directo a la disponibilidad de planta el cual está medido en disponibilidad de molinos.

MTTR inicial (h) 120

MTTR optimizado (h) 67

$$\text{Tiempo ahorrado (h)} = \text{MTTR inicial (h)} - \text{MTTR optimizado (h)}$$

$$\text{Tiempo ahorrado (h)} = 120 \text{ h} - 67 \text{ h} = 53 \text{ h}$$

Tiempo ahorrado (h): 53 h

Cantidad de molinos de bolas: 6

Cantidad Mantenimiento al año por molino: 2

Total, detenciones: 12

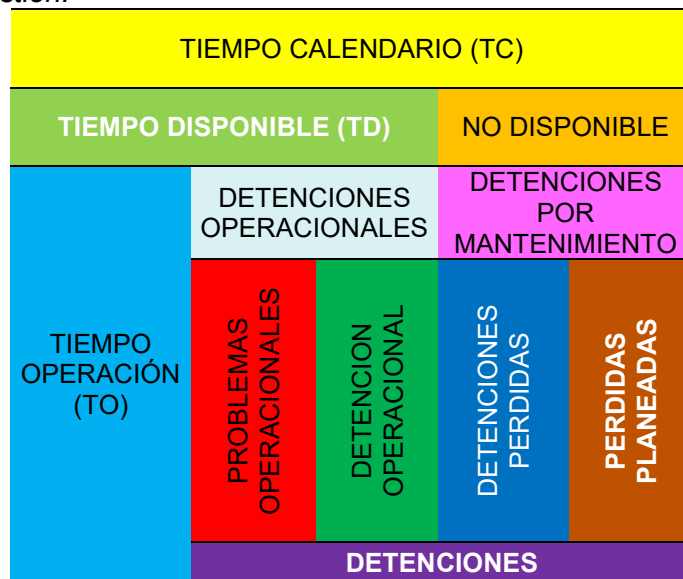
$$\text{Total tiempo ahorrado (h)} = 53 \text{ h} * 12 = 636 \text{ h}$$

Total, tiempo ahorrado (h) 636 h

Horas al año (h) 8,760 h

Con los resultados mostrados y el impacto de la aplicación del SMED se va a calcular la disponibilidad en planta.

**Tabla 20**  
Indicadores de gestión.



Nota: Producto Management, la gestión de producción de la planta.

Con el cuadro mostrado para el cálculo de la disponibilidad es el tiempo disponible del equipo entre el tiempo calendario.

$$\text{Disponibilidad adicional} = \frac{\text{Total tiempo ahorrado (h)}}{\text{Horas al año (h)}} = \frac{636 \text{ h}}{8,760 \text{ h}} = 7.26\%$$

Disponibilidad adicional                      7.26%

De la figura 1, se muestra la disponibilidad desde el 2016 al 2025, la aplicación del SMED en la optimización se centra en el 2022, donde se ve el incremento progresivo de la disponibilidad anual.

Disponibilidad 2021    85.22%

Disponibilidad 2022    89.50%

Disponibilidad 2023    93.47%

Con lo obtenido se va a armar la tabla 21, 22 y 23 en el cual se muestra el impacto económico del SMED en el cambio de revestimiento de molinos de bolas sin considerar en esta parte el costo de oportunidad de producción por la reducción de tiempo en la producción.

**Tabla 21**

*Costo ejecución previos de parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.*

| Dimensión                | Indicadores   | Inicial     | Con SMED    | Unidad  |
|--------------------------|---|-------------|-------------|---------|
| Costo directo del cambio | Costo total en horas hombre                         | \$28.00     | \$28.00     | USD     |
|                          | Costo del alquiler herramientas especiales y equipo | \$5,712.00  | \$0.00      |         |
| Tiempo total de parada   | Previos   | 60          | 60          | horas   |
| Recursos utilizados      | Número de trabajadores involucrados                 | 12          | 12          | x turno |
|                          | Costo Previos                                       | \$25,872.00 | \$20,160.00 | USD     |

En la tabla 21 se muestra una reducción de \$25,872 a \$ 20,160 USD, de la misma manera se va a redactar la tabla 22 en el cual se muestra los costos asociados durante el cambio de revestimiento de molinos de bolas.

**Tabla 22**

*Costo durante la ejecución de parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.*

| Dimensión                | Indicadores   | Inicial      | Con SMED    | Unidad  |
|--------------------------|---|--------------|-------------|---------|
| Costo directo del cambio | Costo total en horas hombre                         | \$28.00      | \$28.00     | USD     |
|                          | Costo del alquiler herramientas especiales y equipo | \$11,424.00  | \$0.00      | USD     |
| Tiempo total de parada   | Horas de inactividad del molino                     | 120          | 67          | horas   |
| Recursos utilizados      | Número de trabajadores involucrados                 | 34           | 34          | x turno |
|                          | Costo Ejecución                                     | \$125,664.00 | \$63,784.00 | USD     |

En la tabla 22 se muestra la reducción de los costos asociados durante la ejecución de \$125,664 a \$63,784, de la misma manera se va a redactar la tabla 23 en cual muestra los costos asociados al post el cambio de revestimiento de molinos de bolas.

**Tabla 23***Costo para el post parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.*

| Dimensión                | Indicadores   | Inicial     | Con SMED    | Unidad  |
|--------------------------|---|-------------|-------------|---------|
| Costo directo del cambio | Costo total en horas hombre                         | \$28.00     | \$28.00     | USD     |
|                          | Costo del alquiler herramientas especiales y equipo | \$5,712.00  | \$0.00      |         |
| Tiempo total de parada   | Previos   | 60          | 60          | horas   |
| Recursos utilizados      | Número de trabajadores involucrados                 | 12          | 12          | x turno |
|                          | Costo Post  | \$25,872.00 | \$20,160.00 |         |

Considerando el previo, ejecución y post se muestra en la siguiente tabla 19 los resultados asociados.

**Tabla 24***Costo resumen asociados al previo, ejecución y post parada para cambio de revestimiento de molinos de bolas.*

| Indicadores                         | Inicial        | Con SMED       | Unidad |
|-------------------------------------|----------------|----------------|--------|
| Costo total x molino                | \$177,408.00   | \$85,344.00    | USD    |
| Ahorro por mantenimiento            | 0              | \$92,064.00    | USD    |
| Cantidad Mantenimiento (2 X MOLINO) | 12             | 12             | und    |
| Costo total anual en 6 molinos      | \$2,128,896.00 | \$1,024,128.00 | USD    |
| Ahorro anual                        | 0              | \$1,104,768.00 | USD    |

Con ello se va a calcular el impacto económico al costo de oportunidad en la producción de concentrado por la detención de los molinos de bolas para su cambio de revestimiento, primero se va a mostrar en la tabla 25 la restricción en toneladas por hora de equipos principales.

**Tabla 25**

*Restricciones por hora de detenciones de equipos principales a la producción de la planta C2 concentrado de cobre.*

| RESTRICCIONES -<br>MODELO APROBADO  | TMS/hr |
|-------------------------------------|--------|
| Zaranda Seca Externa o Intermedia   | 1100   |
| HPGR                                | 1640   |
| Zaranda húmeda Externa o Intermedia | 1130   |
| Molino                              | 2500   |

*Nota: Datos documento 5 week junio 2025*

Con ello se va a proceder calcular las toneladas métricas de concentrado de cobre por hora en la tabla 26.

**Tabla 26**

*Toneladas métricas no procesadas durante la parada para el cambio de revestimiento de molinos de bolas.*

| Indicadores                                 | Inicial    | Con SMED   | Unidad         |
|---|------------|------------|----------------|
| Toneladas horas no procesadas               | 2,500      | 2,500      | Toneladas hora |
| Toneladas no procesadas durante la parada   | 300,000    | 167,500    | Toneladas      |
| Costo por tonelada métrica no procesada     | \$8,828.92 | \$9,430.41 | USD            |
| Año   | (2022)     | (2025)     | Año            |
| Ley   | 0.30%      | 0.30%      | %              |
| TN métricas concentrado de cobre hora       | 7.5        | 7.5        | TN hora        |
| TN métricas no procesadas durante la parada | 900        | 502.5      | TN             |

Con el impacto mostrado de 900 TN sin SMED a 502. TN aplicando el SMED para el cambio de revestimiento de los molinos de bolas se va a convertir en el costo estimado, para ello en la tabla 27 se va a mostrar el precio de la tonelada métrica de concentrado de cobre.

**Tabla 27**

*Precio Cobre grado A, LME spot Price, precio por tonelada métrica 2022 y 2025.*

| Fecha     | Precio \$<br>2022 | Precio \$<br>2025 |
|-----------|-------------------|-------------------|
| Diciembre | \$8,371.09        |                   |
| Noviembre | \$8,049.86        |                   |
| Octubre   | \$7,651.08        |                   |
| Setiembre | \$7,746.01        |                   |
| Agosto    | \$7,990.81        |                   |
| Julio     | \$7,544.81        |                   |
| Junio     | \$9,067.55        | \$9,835.07        |
| Mayo      | \$9,395.03        | \$9,531.20        |
| Abril     | \$10,174.35       | \$9,172.70        |
| Marzo     | \$10,230.89       | \$9,735.82        |
| Febrero   | \$9,943.18        | \$9,330.98        |
| Enero     | \$9,782.34        | \$8,976.68        |
| Promedio  | \$8,828.92        | \$9,430.41        |

Nota: Datos Macros 2022 y 2025, <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/cobre?anio=2022>

**Tabla 28**

*Toneladas métricas no procesadas durante la parada para el cambio de revestimiento de molinos de bolas.*

| Indicadores  | Inicial         | Con SMED          | Unidad   |
|--|-----------------|-------------------|----------|
| Costo por producción (\$) x mantenimiento x molino     | \$7,946,025.00  | \$4,738,781.03    | USD (\$) |
| Costo total mantenimiento con producción (\$) x molino | \$8,123,433.00  | \$4,824,125.03    | USD (\$) |
| Ahorro por mantenimiento x molino                      |                 | \$3,299,307.98    | USD (\$) |
| Cantidad Mantenimiento en 6 molinos                    | 12              | 12                |          |
| Costo total anual (\$)                                 | \$97,481,196.00 | \$57,889,500.30   | USD (\$) |
| Ahorro anual   |                 | 0 \$39,591,695.70 | USD (\$) |

Con ello se muestra un ahorro anual de \$ 39'591,695.70 en producción y costos aplicando el SMED como metodología para la optimización de cambio de revestimiento de molino de bolas.

Adicional considerando la reducción de 120 h a 67 h por molino de bolas es 53 h sin exposición de 34 personas por turno, siendo en total

$$\frac{53h}{\text{molino}} \times 34 \text{ hombre} = 1,802 \text{ horas} \frac{\text{hombre}}{\text{molino} - \text{intervenido}}$$

$$1,802 \text{ horas} \frac{\text{hombre}}{\text{molino} - \text{intervenido}} \times 6 \text{ molinos} \times 2 \text{ intervenciones} = 21,624 \text{ horas hombre}$$

Quiere decir con los cálculos se genera una reducción 21,624 horas hombre en exposición durante trabajos de mantenimiento.

## Capítulo IV. Resultados, Contratación de Hipótesis y Discusión de Resultados

### 4.1 Resultados

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología SMED.

**Tabla 29**

*Resultados finales de la aplicación del SMED para el cambio de revestimiento en molinos de bolas.*

| <b>Indicador intervenciones</b>  | <b>Antes de SMED (Línea base)</b> | <b>Resultado de SMED</b> | <b>Δ</b>        | <b>Mejora (%)</b> |
|--|-----------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|
| Disponibilidad   | 85.22%                            | 92.48%                   | 7.26%           | 8.52%             |
| Tiempo total del cambio (horas) x intervención                                 | 120                               | 67                       | 53              | 44.17%            |
| Horas hombre totales   | 48,960.00                         | 27,336.00                | 21,624.00       | 44.17%            |
| Costo servicio (USD)   | \$177,408.00                      | \$85,344.00              | \$92,064.00     | 51.89%            |
| Costo servicio anual 6 molinos x 2 intervenciones                              | \$2,128,896.00                    | \$1,024,128.00           | \$1,104,768.00  | 51.89%            |
| Toneladas no procesadas (TN)   | 900                               | 502.5                    | 397.5           | 44.17%            |
| Costo oportunidad producción x 1 molino (USD)                                  | \$7,946,025.00                    | \$4,738,781.03           | \$3,207,243.97  | 40.36%            |
| Costo total mantenimiento y producción x 1 molino (USD)                        | \$8,123,433.00                    | \$4,824,125.03           | \$3,299,307.97  | 40.61%            |
| Costo total mantenimiento y producción anual 6 molinos x2 intervenciones (USD) | \$97,481,196.00                   | \$57,889,500.36          | \$39,591,695.64 | 40.61%            |

## **4.2 Contratación de hipótesis**

Ho: El cambio de revestimiento de molinos de bolas mediante SMED no mejora la disponibilidad y no reduce los costos de producción en una planta concentradora de cobre.

Hi: El cambio de revestimiento de molinos de bolas mediante SMED mejora la disponibilidad y reduce los costos de producción en una planta concentradora de cobre.

Decisión: Debido a la tabla de resultados donde la disponibilidad se ha incrementado en 7.26% y se ha alcanzado un ahorro de costos 39'591,695.64 \$ se acepta la hipótesis de la investigación y se rechaza la hipótesis nula

## **4.3 Discusión de resultados**

La implementación de la metodología SMED para el cambio de revestimiento de seis molinos de bolas de Polysius de 8.2 D x 14.6 m en la planta concentradora de cobre, generó resultados significativos en la disponibilidad operativa como en la reducción de costos, evidenciando el impacto positivo de la estandarización y optimización de actividades críticas en paradas de mantenimiento.

En el periodo de un año posterior a la aplicación de la metodología, la disponibilidad operativa de los molinos se incrementó en 7.26% respecto al promedio histórico previo. Este aumento se explica principalmente por la reducción de los tiempos de cambio de revestimientos gracias a:

La identificación y separación de las actividades internas y externas. La preparación anticipada a detalle de herramientas, equipos y repuestos. La implementación de trabajos

en paralelo y la asignación precisa de roles. La eliminación de tiempos improductivos derivados de la espera de recursos o decisiones operativas.

Este incremento de disponibilidad permitió que los molinos de bolas permanecieran más horas productivas al año, lo que se tradujo en una mayor cantidad de mineral procesado sin necesidad de ampliar la capacidad instalada, optimizando así el uso de activos críticos de la planta.

En términos económicos, la reducción acumulada de costos asociada al cambio de revestimientos alcanzó aproximadamente 39.59 millones de dólares (MM\$) en el periodo evaluado. Esta disminución se debe principalmente a:

- a) Menor pérdida de producción por reducción de horas fuera de servicio.
- b) Optimización del uso de personal mediante un plan de trabajo más eficiente, reduciendo horas hombre improductivas.
- c) Reducción de costos servicios.

La magnitud de estos ahorros confirma que, además del impacto técnico – operativo, la metodología SMED tiene un alto potencial de generación de valor económico, especialmente en procesos minero – metalúrgicos donde el tiempo de operación de los equipos se traduce directamente en rentabilidad.

Lo que demuestra que la intervención no solo fue efectiva, sino que logró un desempeño sobresaliente. Esto se atribuye a la adaptación específica de la metodología a las condiciones operativas de la planta y al compromiso del equipo de trabajo en la ejecución del nuevo procedimiento.

Los resultados obtenidos validan la hipótesis planteada: la implementación de SMED en el cambio de revestimientos de molinos de bolas es una estrategia efectiva para aumentar la disponibilidad operativa y reducir costos de mantenimiento, generando beneficios sostenibles a nivel técnico, económico y organizacional.

## Recomendaciones

1. Estandarizar y documentar el procedimiento optimizado de cambio de revestimientos como un protocolo oficial de mantenimiento asegurando su aplicación en futuras paradas de planta.
2. Establecer un programa continuo de capacitación para el personal involucrado en los cambios de revestimientos, con énfasis en la ejecución sincronizada de tareas y la importancia del cumplimiento estricto de la secuencia de actividades.
3. Implementar herramientas digitales para el seguimiento en tiempo real de las actividades durante el cambio de revestimientos, permitiendo una mejor gestión, control y análisis de oportunidades de mejora en cada intervención.
4. Replicar la metodología SMED en otras áreas de mantenimiento de la planta concentradora (como chancado o flotación), priorizando aquellos procesos que presenten altos tiempos de indisponibilidad por actividades repetitivas y programadas.
5. Realizar auditorías periódicas al procedimiento optimizado para asegurar el cumplimiento de estándares, identificar desviaciones y fomentar una cultura de mejora continua basada en resultados.

## Conclusiones

1. La aplicación de la metodología SMED en el proceso de cambio de revestimiento de 6 molinos de bolas 8.2D x 14.6 m permitió una reducción significativa en el tiempo de intervención, lo que se tradujo en un incremento del 7.26% en la disponibilidad operativa de los equipos, mejorando la eficiencia del área de molienda.
2. La estandarización de tareas, la planificación detallada y la ejecución paralela de actividades internas y externas permitieron optimizar los recursos humanos y técnicos, eliminando tiempos muertos y cuellos de botella en el proceso y sobre todo disminuyendo tiempos de exposición de horas hombre.
3. Como resultado directo de la mejora en los tiempos de intervención, la empresa obtuvo una reducción de costos estimada en 39.59 millones de dólares americanos (MM\$) durante el primer año de implementación, lo cual demuestra que la mejora continua en mantenimiento genera valor económico sostenible para la organización.
4. El enfoque colaborativo entre las áreas de mantenimiento, operaciones y logística fue clave para el éxito de la implementación del SMED, destacando la importancia de una gestión integral del cambio en intervenciones críticas.
5. La hipótesis de investigación se valida con los resultados obtenidos, confirmando que la aplicación de metodología SMED en entornos mineros es viable y altamente beneficiosa, tanto a nivel técnico como económico.

## Referencias

- Lau C. (2019). Diseño de un modelo utilizando la herramienta SMED para reducir el tiempo de preparación de máquina en la línea de producción de ampollas en una empresa de productos de vidrio. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería] Repositorio UNI]
- Precio Cobre grado A, LME spot price, precio por tonelada métrica. (s/f). Datosmacro.com. Recuperado el 15 de julio de 2025, de <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/cobre?anio=2025>
- Prezi, F.C.O. (s.f.) Presentación SMED.prezi.com <https://prezi.com/p/lysktj-qzwt5/presentacion-smed/>
- Santy, P. (2023). *Implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad del equipo mas crítico del área de molienda de mineral de baja ley* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería] Repositorio UNI.
- Tuesta, T. (2022). Mejora de la productividad mediante el análisis de un indicador de efectividad de equipos en una planta de elaboración de mayonesa. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería] Repositorio UNI
- Tecsup (2022). *Manual de Operaciones – Planta Concentradora C2, Área 3300 – Molienda* [Manual operaciones, TECSUP]
- Tecsup (2024) *Guía de Competencia – Operación de Molienda C2, Áreas: Concentradora C2* [Instrucción Procesos, Cerro Verde] Código GCSPE010, Rev A
- Valor de los concentrados de minerales – SNMPE. (s/f). Org.pe. Recuperado el 15 de Julio de 2025, de <https://www.Snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/temas-de-interes/4767-valor-de-los-concentrados-de-minerales.html>

## Anexos

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1: Definiciones .....                             | 1  |
| Anexo 2: Gantt 120 horas .....                          | 2  |
| Anexo 3: Gantt 106 horas .....                          | 4  |
| Anexo 4: Gantt 96 horas .....                           | 7  |
| Anexo 5: Gantt 91 horas .....                           | 11 |
| Anexo 6: Gantt 90.92 horas .....                        | 16 |
| Anexo 7: Gantt 85 horas .....                           | 18 |
| Anexo 8: Gantt 78.25 horas .....                        | 20 |
| Anexo 9: Gantt 67 horas .....                           | 25 |
| Anexo 10: Posicionamiento de los revestimientos .....   | 29 |
| Anexo 11: Plataformas .....                             | 30 |
| Anexo 12: Distribución de personal .....                | 31 |
| Anexo 13: Giros del molino de bolas .....               | 32 |
| Anexo 14: Herramienta retiro liner molino de bolas..... | 35 |

## **Anexo 1: Definiciones**

Shell (inglés): cilindro; parte cilíndrica del molino de bolas

Shell Liners Bolt: Pernos de los revestimientos del cilindro del molino de bolas

Liners (inglés): revestimiento o pieza sometida a desgaste

Enlainadora (coloquial): equipo habilitado para realizar maniobras que permite la instalación o retiro de los liners del molino de bolas

Backing rubber (inglés): capa de caucho entre la estructura del cilindro (shell) y los liners o entre las tapas y los liners

Gearless (inglés): transmisión de potencia mecánica o giro sin utilización de engranajes

Bolts (inglés): Pernos

Trunnion (inglés): Apoyo del molino

Filler Ring (inglés): Anillo de relleno del molino

## Anexo 2: Gantt 120 horas

| Nombre de la tarea                               | Duración   | Comienzo            | Fin                 | Predecesoras |
|--|------------|---------------------|---------------------|--------------|
| <b>CAMBIO DE REVESTIMIENTO COMPLETO ML - 401</b> | <b>120</b> | <b>lun 23/05/22</b> | <b>vie 27/05/22</b> |              |
| <b>EJECUCIÓN DEL TRABAJO</b>                     | <b>120</b> | <b>lun 23/05/22</b> | <b>vie 27/05/22</b> |              |
| LAVADO   | 2          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 2CC          |
| Bloqueo  | 2          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 3            |
| Retiro de chute                                  | 1.5        | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 4            |
| Retiro de guarda de descarga                     | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 4            |
| Sello caucho retiro                              | 2.5        | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 5            |
| Armado andamio descarga alimentación             | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 6            |
| Retiro magneto                                   | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 6            |
| Enlainado  | 1          | lun 23/05/22        | lun 23/05/22        | 7            |
| Entorchado                                       | 1.5        | lun 23/05/22        | mar 24/05/22        | 10           |
| 1° posición - 1° giro                            | 15         | mar 24/05/22        | mar 24/05/22        | 11           |
| 2° Posición - 2° giro                            | 15         | mar 24/05/22        | mié 25/05/22        | 12           |
| 3° Posición - 3° giro                            | 15         | mié 25/05/22        | mié 25/05/22        | 13           |
| 4° Posición - 4° giro                            | 15         | mié 25/05/22        | jue 26/05/22        | 14           |
| 5° Posición                                      | 15         | jue 26/05/22        | jue 26/05/22        | 15           |
| 6° Posición                                      | 15         | jue 26/05/22        | jue 26/05/22        | 16           |
| Giro molino                                      | 1          | jue 26/05/22        | vie 27/05/22        | 17           |
| Retorqueo  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18           |
| Montaje Magneto                                  | 1          | vie 27/05/22        | vie 27/05/22        | 18           |

|                          |     |              |              |    |
|--------------------------|-----|--------------|--------------|----|
| Retiro enlainadora       | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 18 |
| Giro molino              | 0.5 | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 19 |
| Sello caucho instalación | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 20 |
| Retorqueo                | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 20 |
| Giro molino              | 0.5 | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 21 |
| Retorqueo                | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 24 |
| Cierre Chute             | 1.5 | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 22 |
| Giro molino              | 0.5 | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 23 |
| Retorqueo                | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 24 |
| Desbloqueo               | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 25 |
| Prueba hidrostática      | 1   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 26 |
| Desmontaje andamios      | 1.5 | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 30 |
| Instalación de guardas   | 2   | vie 27/05/22 | vie 27/05/22 | 31 |

### Anexo 3: Gantt 106 horas

| Nombre de la tarea  | Duración       | Predecesoras |
|---|----------------|--------------|
| <b>CAMBIO DE LINERS SHELL + TAPAS ML501 C2</b>                            | <b>106 hrs</b> |              |
| <b>EJECUCIÓN DEL TRABAJO</b>  | <b>106 hrs</b> |              |
| Instalación de viga monorriel   | 5 hrs          |              |
| Limpieza de molino  | 2.5 hrs        |              |
| Bloqueo eléctrico y mecánico del equipo                                   | 2.5 hrs        | 4            |
| Retiro del chute de alimentación  | 2 hrs          | 5            |
| Instalación de tapa housing   | 1 hr           | 6            |
| Desmontaje de disco de sellos   | 2.5 hrs        | 7;3          |
| Instalación máquina enlainadora   | 2.5 hrs        | 8            |
| <b>POSICIÓN N°1 (Giro 0) DESMONTAJE Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>24 hrs</b>  |              |
| Retiro de pernos + Caída de liners  | 8.5 hrs        | 9            |
| Evacuación de liners  | 2 hrs          | 11           |
| Retiro de pernos + Evacuación de liners adicionales                       | 3 hrs          | 12           |
| Montaje de liners nuevos  | 9.5 hrs        | 13           |
| Desmontaje de andamios + Desbloqueo                                       | 0.5 hrs        | 14           |
| 1er Giro + Bloqueo  | 0.5 hrs        | 15           |
| <b>POSICIÓN N°2 (Giro 1) DESMONTAJE Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>15 hrs</b>  |              |
| Retiro de pernos + Caída de liners  | 6 hrs          | 16           |

|   |               |    |
|---|---------------|----|
| Evacuación de liners  | 2.5 hrs       | 18 |
| Montaje de liners nuevos  | 5.5 hrs       | 19 |
| Desmontaje de andamios +<br>Desbloqueo                                    | 0.5 hrs       | 20 |
| 2do Giro + Bloqueo  | 0.5 hrs       | 21 |
| <b>POSICIÓN N°3 (Giro 2) BOTADO Y<br/>MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>11 hrs</b> |    |
| Retiro de pernos + Caída de liners  | 3.5 hrs       | 22 |
| Evacuación de liners  | 1.5 hrs       | 24 |
| Montaje de liners nuevos  | 5 hrs         | 25 |
| Desmontaje de andamios +<br>Desbloqueo                                    | 0.5 hrs       | 26 |
| 3er Giro + Bloqueo  | 0.5 hrs       | 27 |
| <b>POSICIÓN N°4 (Giro 3) BOTADO Y<br/>MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>12 hrs</b> |    |
| Retiro de pernos + Caída de liners  | 3.5 hrs       | 28 |
| Evacuación de liners  | 2.5 hrs       | 30 |
| Montaje de liners nuevos  | 5 hrs         | 31 |
| Desmontaje de andamios +<br>Desbloqueo                                    | 0.5 hrs       | 32 |
| 4to Giro + Bloqueo  | 0.5 hrs       | 33 |
| <b>POSICIÓN N°5 (Giro 4) BOTADO Y<br/>MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>11 hrs</b> |    |
| Retiro de pernos + Caída de liners  | 3.5 hrs       | 34 |
| Evacuación de liners  | 2.5 hrs       | 36 |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs         | 37 |
| Desmontaje de andamios +<br>Desbloqueo                                    | 0.5 hrs       | 38 |
| 5to Giro + Bloqueo  | 0.5 hrs       | 39 |

| <b>POSICIÓN N°6 (Giro 5) BOTADO Y<br/>MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>7.5 hrs</b>      |       |
|---|---------------------|-------|
| Retiro de pernos + Caída de liners  | 3.5 hrs             | 40    |
| Evacuación de liners  | 2 hrs               | 42    |
| Montaje de liners nuevos  | 1 hr                | 43    |
| Desmontaje de andamios +<br>Desbloqueo                                    | 0.5 hrs             | 44    |
| 6to Giro + Bloqueo  | 0.5 hrs             | 45    |
| <b>POSICIÓN N°7 (Giro 6) BOTADO Y<br/>MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>12.5<br/>hrs</b> |       |
| Instalación de pórtico  | 8.5 hrs             | 46    |
| Montaje de liners nuevos  | 1.5 hrs             | 46    |
| Retiro de máquina enlainadora   | 1 hr                | 49    |
| Escaneo (Predictivo)  | 1 hr                | 50    |
| Instalación de disco de sello   | 2 hrs               | 51    |
| Instalación de chute de alimentación                                      | 3 hrs               | 52    |
| Orden y limpieza  | 1 hr                | 53;48 |
| Desbloqueo del equipo   | 1 hr                | 54    |
| Pruebas de funcionamiento   | 2 hrs               | 55    |

## Anexo 4: Gantt 96 horas

| Nombre de la tarea  | Duración      |
|---|---------------|
| <b>CAMBIO DE LINERS SHELL + TAPAS ML501 C2</b>                            | <b>96 hrs</b> |
| <b>EJECUCIÓN DEL TRABAJO</b>  | <b>96 hrs</b> |
| Instalación de viga monorriel   | 5 hrs         |
| Limpieza de molino  | 2 hrs         |
| Bloqueo eléctrico y mecánico del equipo                                   | 1 hr          |
| Retiro del chute de alimentación  | 1 hr          |
| Retiro de sello sándwich  | 1.5 hrs       |
| Retiro de guardas de protección   | 1 hr          |
| Posicionamiento de enlainadora  | 1 hr          |
| <b>POSICIÓN N°1 (Giro 0) DESMONTAJE Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>14 hrs</b> |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.25 hrs      |
| Corte y soltura de pernos de molino                                       | 1.5 hrs       |
| Desmontaje de revestimientos  | 2 hrs         |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                       | 1.5 hrs       |
| Alimentación de liners nuevos al molino                                   | 2 hrs         |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs         |
| Ajuste y torque de pernos   | 2 hrs         |
| Desbloqueo del equipo   | 0.75 hrs      |

|   |               |
|---|---------------|
| <b>POSICIÓN N°2 (Giro 1) DESMONTAJE Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>14 hrs</b> |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.25 hrs      |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                     | 1.5 hrs       |
| Desmontaje de revestimientos  | 2 hrs         |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                       | 1.5 hrs       |
| Alimentación de liners nuevos al molino                                   | 2 hrs         |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs         |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 2 hrs         |
| Desbloqueo del equipo   | 0.75 hrs      |
| <b>POSICIÓN N°3 (Giro 2) BOTADO Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b>     | <b>14 hrs</b> |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.25 hrs      |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                     | 1.5 hrs       |
| Desmontaje de revestimientos  | 2 hrs         |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                       | 1.5 hrs       |
| Alimentación de liners nuevos al molino                                   | 2 hrs         |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs         |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 2 hrs         |
| Desbloqueo del equipo   | 0.75 hrs      |
| <b>POSICIÓN N°4 (Giro 3) BOTADO Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b>     | <b>14 hrs</b> |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.25 hrs      |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                     | 1.5 hrs       |
| Desmontaje de revestimientos  | 2 hrs         |

|   |                  |
|---|------------------|
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                   | 1.5 hrs          |
| Alimentación de liners nuevos al molino                               | 2 hrs            |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs            |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 2 hrs            |
| Desbloqueo del equipo   | 0.75 hrs         |
| <b>POSICIÓN N°5 (Giro 4) BOTADO Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>14 hrs</b>    |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.25 hrs         |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                 | 1.5 hrs          |
| Desmontaje de revestimientos  | 2 hrs            |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                   | 1.5 hrs          |
| Alimentación de liners nuevos al molino                               | 2 hrs            |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs            |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 2 hrs            |
| Desbloqueo del equipo   | 0.75 hrs         |
| <b>POSICIÓN N°6 (Giro 5) BOTADO Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>13.25 hrs</b> |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.25 hrs         |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                 | 1.5 hrs          |
| Desmontaje de revestimientos  | 2 hrs            |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                   | 1.5 hrs          |
| Alimentación de liners nuevos al molino                               | 2 hrs            |
| Montaje de liners nuevos  | 4 hrs            |

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| Ajuste y torqueo de pernos           | 2 hrs    |
| Retiro de enlainadora                | 0.5 hrs  |
| Instalación de sello sándwich        | 1 hr     |
| Instalación de chute de alimentación | 2 hrs    |
| Orden y limpieza                     | 1 hr     |
| Desbloqueo del equipo                | 0.75 hrs |

## Anexo 5: Gantt 91 horas

| Nombre de la tarea  | Duración         | Predecesoras |
|---|------------------|--------------|
| <b>CAMBIO DE REVESTIMIENTO COMPLETO<br/>MLB04 SMCV</b>                                | <b>91 hrs</b>    |              |
| <b>PERIFERIA TIEMPOS DE SMCV ENTREGA DE MOLINO</b>                                    | <b>6 hrs</b>     |              |
| Pare de Molino, Lavado y Descarga de Mineral  | 2 hrs            |              |
| Bloqueo de Molino por Minera  | 15 min           | 2            |
| Apertura de Periferia Descarga / chute móvil / revisión de cargas / drenado de molino | 2 hrs            | 3            |
| Armado de andamios laterales  | 3.75 hrs         | 3            |
| Retiro de Sello / verificación de Atmosfera   | 1 hr             | 4            |
| Escaneo   | 30 min           | 6            |
| <b>ACTIVIDADES DE APERTURA DE METSO</b>   | <b>4.75 hrs</b>  |              |
| Bloqueo de Molino MO  | 15 min           | 3            |
| Apertura de Periféricos, Guardas y Protectores  | 1 hr             | 9            |
| Instalación de llaves, prueba de Equipos  | 1 hr             | 10           |
| Drenaje de Molino   | 1.5 hrs          | 11           |
| Recepción de molino bolas   | 0 hrs            | 5            |
| ingreso de Maquina Enlainadora  | 1 hr             | 13           |
| <b>Cambio de revestimiento molino bolas 04 TAPAS Y Shell</b>                          | <b>84 hrs</b>    |              |
| <b>Giro N° 0 (Posición 1)</b>   | <b>14.01 hrs</b> |              |
| Monitoreo de gases  | 10 min           | 14           |

|  |                  |           |
|--|------------------|-----------|
| Instalación de luminarias / extractora / otros   | 0.5 hrs          | 17        |
| Trabajos en Caliente (torchado y Desquinche de Bolas)  | 1.18 hrs         | 17        |
| Retiro de pernos / trabajos en caliente oxicorte   | 2 hrs            | 19        |
| Desmontaje de revestimiento: 4 filas por lado (4/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (4/24) | 4.5 hrs          | 20        |
| Limpieza interior de molino / inspección y pase a Backing rubber   | 30 min           | 21        |
| Montaje de revestimiento: 4 filas por lado (4/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (4/24)    | 4.5 hrs          | 22        |
| Ajuste Torque  | 0.75 hrs         | 23        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 10 min           | 24        |
| Giro de molino N°1   | 15 min           | 25        |
| <b>Giro N°1(2 posición)</b>  | <b>13.15 hrs</b> | <b>16</b> |
| Instalación de bloqueos  | 5 min            | 26        |
| Trabajos en Caliente (Torchado y Desquinche de Bolas)  | 1 hr             | 28        |
| Retiro de pernos / trabajos en caliente oxicorte   | 2 hrs            | 29        |
| Desmontaje de revestimiento: 4 filas por lado (8/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (8/24) | 4.2 hrs          | 30        |
| Limpieza interior de molino / inspección y pase a Backing rubber   | 30 min           | 31        |
| Montaje de revestimiento: 4 filas por lado (8/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (8/24)    | 4.2 hrs          | 32        |
| Ajuste Torque  | 0.75 hrs         | 33        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 10 min           | 34        |
| Giro de molino N°2   | 15 min           | 35        |
| <b>Giro N°2(3 posición)</b>  | <b>12.75 hrs</b> | <b>27</b> |
| Instalación de bloqueos  | 5 min            | 34        |
| Trabajos en Caliente (Torchado y Desquinche de Bolas)  | 1 hr             | 38        |

|  |                  |           |
|--|------------------|-----------|
| Retiro de pernos / trabajos en caliente oxicorte   | 2 hrs            | 39        |
| Desmontaje de revestimiento: 4 filas por lado (12/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (12/24) | 4 hrs            | 40        |
| Limpieza interior de molino / inspección y pase a Backing rubber   | 30 min           | 41        |
| Montaje de revestimiento: 4 filas por lado (12/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (12/24)    | 4 hrs            | 42        |
| Ajuste Torque  | 0.75 hrs         | 43        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 10 min           | 44        |
| Giro de molino N°3   | 15 min           | 45        |
| <b>Giro N°3(4 posición)</b>  | <b>12.75 hrs</b> | <b>37</b> |
| Instalación de bloqueos  | 5 min            | 44        |
| Trabajos en Caliente (Torchado y Desquinche de Bolas)  | 1 hr             | 48        |
| Retiro de pernos / trabajos en caliente oxicorte   | 2 hrs            | 49        |
| Desmontaje de revestimiento: 4 filas por lado (16/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (16/24) | 4 hrs            | 50        |
| Limpieza interior de molino / inspección y pase a Backing rubber   | 30 min           | 51        |
| Montaje de revestimiento: 4 filas por lado (16/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (16/24)    | 4 hrs            | 52        |
| Ajuste Torque  | 0.75 hrs         | 53        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 10 min           | 54        |
| Giro de molino N°4   | 15 min           | 55        |
| <b>Giro N°4(5 posición)</b>  | <b>12.75 hrs</b> | <b>47</b> |
| Instalación de bloqueos  | 5 min            | 54        |
| Trabajos en Caliente (Torchado y Desquinche de Bolas)  | 1 hr             | 58        |
| Retiro de pernos / trabajos en caliente oxicorte   | 2 hrs            | 59        |

|  |                  |           |
|--|------------------|-----------|
| Desmontaje de revestimiento: 4 filas por lado (20/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (20/24) | 4 hrs            | 60        |
| Limpieza interior de molino / inspección y pase a Backing rubber   | 30 min           | 61        |
| Montaje de revestimiento: 4 filas por lado (20/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (20/24)    | 4 hrs            | 62        |
| Ajuste Torque  | 0.75 hrs         | 63        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 10 min           | 64        |
| Giro de molino N°5   | 15 min           | 65        |
| <b>Giro N°5(6 posición)</b>  | <b>12.84 hrs</b> | <b>57</b> |
| Instalación de bloqueos  | 0.17 hrs         | 64        |
| Trabajos en Caliente (Torchado y Desquinche de Bolas)  | 1 hr             | 68        |
| Retiro de pernos / trabajos en caliente oxicorte   | 2 hrs            | 69        |
| Desmontaje de revestimiento: 4 filas por lado (24/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (24/24) | 4 hrs            | 70        |
| Limpieza interior de molino / inspección y pase a backing rubber   | 30 min           | 71        |
| Montaje de revestimiento: 4 filas por lado (24/24 Shell) / 2 filas por lado alimentación y descarga (24/24)    | 4 hrs            | 72        |
| Ajuste Torque  | 0.75 hrs         | 73        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 10 min           | 74        |
| Giro de molino N°5   | 15 min           | 75        |
| <b>Giro N°6 (verificación)</b>   | <b>3.75 hrs</b>  | <b>67</b> |
| Instalación de bloqueos  | 0.17 hrs         | 74        |
| Cierre de Montaje y verificación   | 2 hrs            | 78        |
| Retiro del equipo enlainadora / limpieza / retiro de equipos y herramientas                                    | 80 min           | 79        |
| Desbloqueo, orden y limpieza   | 15 min           | 80        |

|  |              |           |
|--|--------------|-----------|
| Fin de cambio de revestimiento                                 | 0 hrs        | 81        |
| Segregación y Limpieza de área de Trabajo, Retiro de Elementos | 2 hrs        | 82        |
| <b>FIN DE SERVICIO</b>   | <b>0 hrs</b> | <b>83</b> |

## Anexo 6: Gantt 90.92 horas

| Nombre de la tarea                                   | Duración         | Predecesoras |
|--|------------------|--------------|
| <b>CAMBIO DE REVESTIMIENTO COMPLETO<br/>ML - 401</b> | <b>90.92 hrs</b> |              |
| <b>EJECUCIÓN DEL TRABAJO</b>                         | <b>90.92 hrs</b> |              |
| LAVADO   | 2 hrs            | 2CC          |
| Bloqueo  | 2 hrs            | 3            |
| Retiro de chute                                      | 1.5 hrs          | 4            |
| Retiro de guarda de descarga                         | 1 hr             | 4            |
| Sello caucho retiro                                  | 2.5 hrs          | 5            |
| Armado andamio descarga alimentación                 | 1 hr             | 6            |
| Retiro magneto                                       | 1 hr             | 6            |
| Enlainado  | 1 hr             | 7            |
| Entorchado   | 1.5 hrs          | 10           |
| 1° posición - 1° giro                                | 13.33 hrs        | 11           |
| 2° Posición - 2° giro                                | 12.25 hrs        | 12           |
| 3° Posición - 3° giro                                | 12 hrs           | 13           |
| 4° Posición - 4° giro                                | 11.75 hrs        | 14           |
| 5° Posición  | 11.5 hrs         | 15           |
| 6° Posición  | 10.59 hrs        | 16           |
| Giro molino  | 1 hr             | 17           |

|                          |         |    |
|--------------------------|---------|----|
| Retiro enlainadora       | 1 hr    | 18 |
| Giro molino              | 0.5 hrs | 19 |
| Sello caucho instalación | 1 hr    | 20 |
| Giro molino              | 0.5 hrs | 21 |
| Cierre Chute             | 1.5 hrs | 22 |
| Giro molino              | 0.5 hrs | 23 |
| Retorqueo                | 1 hr    | 24 |
| Desbloqueo               | 1 hr    | 25 |
| Prueba hidrostática      | 1 hr    | 26 |
| Retorqueo                | 1 hr    | 20 |
| Retorqueo                | 1 hr    | 18 |
| Montaje Magneto          | 1 hr    | 18 |
| Desmontaje andamios      | 1.5 hrs | 30 |
| Instalación de guardas   | 2 hrs   | 31 |

## Anexo 7: Gantt 85 horas

| Nombre de la tarea                               | Duración      | Predecesoras |
|--|---------------|--------------|
| <b>CAMBIO DE REVESTIMIENTO COMPLETO ML - 401</b> | <b>85 hrs</b> |              |
| <b>EJECUCIÓN DEL TRABAJO</b>                     | <b>85 hrs</b> |              |
| LAVADO   | 2 hrs         | 2CC          |
| Bloqueo  | 2 hrs         | 3            |
| Retiro de chute                                  | 1.5 hrs       | 4            |
| Retiro de guarda de descarga                     | 1 hr          | 4            |
| Sello caucho retiro                              | 2.5 hrs       | 5            |
| Armado andamio descarga alimentación             | 1 hr          | 6            |
| Retiro magneto                                   | 1 hr          | 6            |
| Enlainado  | 1 hr          | 7            |
| Entorchado                                       | 1.5 hrs       | 10           |
| 1° posición - 1° giro                            | 12.33 hrs     | 11           |
| 2° Posición - 2° giro                            | 11.25 hrs     | 12           |
| 3° Posición - 3° giro                            | 11 hrs        | 13           |
| 4° Posición - 4° giro                            | 10.76 hrs     | 14           |
| 5° Posición                                      | 10.5 hrs      | 15           |
| 6° Posición                                      | 9.6 hrs       | 16           |
| Giro molino                                      | 1 hr          | 17           |
| Retiro enlainadora                               | 1 hr          | 18           |

|                          |         |    |
|--------------------------|---------|----|
| Giro molino              | 0.5 hrs | 19 |
| Sello caucho instalación | 1 hr    | 20 |
| Giro molino              | 0.5 hrs | 21 |
| Cierre Chute             | 1.5 hrs | 22 |
| Giro molino              | 0.5 hrs | 23 |
| Retorqueo                | 1 hr    | 24 |
| Desbloqueo               | 1 hr    | 25 |
| Prueba hidrostática      | 1 hr    | 26 |
| Retorqueo                | 1 hr    | 20 |
| Retorqueo                | 1 hr    | 18 |
| Montaje Magneto          | 1 hr    | 18 |
| Desmontaje andamios      | 1.5 hrs | 30 |
| Instalación de guardas   | 2 hrs   | 31 |

## Anexo 8: Gantt 78.25 horas

| Nombre de la tarea   | Especialidad | Duración         | Predecesoras  |
|--|--------------|------------------|---------------|
| <b>LINEA 3</b>   |              | <b>78.25 hrs</b> |               |
| Limpieza y Entrega de Molinos línea 3                                | OPE          | 2 hrs            | 5             |
| Bloqueo de Molinos línea 3   | MEC          | 2 hrs            | 1043          |
| PM REGULACION DE FRENOS MOLINOS                                      | MEC          | 6 hrs            | 1044FC+60 hrs |
| Medición pastillas freno del molino (Superior)                       | MEC          | 6 hrs            | 1044FC+60 hrs |
| Cambio Spider Descarga Molino y Porta spider                         | MEC          | 12 hrs           | 1044          |
| Inspección UT Escaneo Liners Molinos                                 | MEC          | 1 hr             | 1044FC+6 hrs  |
| Inspección UT Soldadura Tapas Molino                                 | MEC          | 3 hrs            | 1044FC+60 hrs |
| Inspección Fisuras Molinos   | MEC          | 3 hrs            | 1044FC+6 hrs  |
| Reparación Canaleta Chips, Zaranda, cajón descarga                   | MEC          | 10 hrs           | 1044FC+52 hrs |
| Reparación Revestimiento Trommel Magnético                           | MEC          | 10 hrs           | 1044FC+24 hrs |
| Cambio de Divisores de Flujo de 6 vías, Lado Fijo "A", "B", "C", "D" | MEC          | 6 hrs            | 1044          |
| Cambio de Divisores de Flujo de 6 vías Lado Flotante "A", "D"        | MEC          | 6 hrs            | 1044FC+64 hrs |
| <b>CAMBIO LINERS SHELL ML301</b>                                     | <b>MEC</b>   | <b>78.25 hrs</b> |               |
| <b>Trabajos previos</b>  |              | <b>11.5 hrs</b>  |               |
| Corte de carga   | OPE          | 0 hrs            | 5             |
| Limpieza y lavado de molino  | OPE          | 2 hrs            | 1167          |
| Charla de seguridad + preparativos                                   | MEC          | 1.5 hrs          | 1167          |
| Bloqueo de Molino  | MEC          | 2 hrs            | 1168          |
| Demarcación + preparativos   | MEC          | 1 hr             | 1170          |
| Retiro del Chute de Alimentación                                     | MEC          | 2 hrs            | 1171          |
| Retiro de sello sándwich   | MEC          | 1.5 hrs          | 1172          |
| Colocar tapa para bloquear el housing                                | MEC          | 0.5 hrs          | 1173          |
| Instalación de la maquina enlainadora                                | MEC          | 1.5 hrs          | 1174          |

|  |            |                 |      |
|--|------------|-----------------|------|
| Pre-giro para el primer retiro de Liner.             | MEC        | 1 hr            | 1175 |
| Instalación de Andamios zona del estator Sur y Norte | MEC        | 4 hrs           | 1170 |
| <b>Instalación de liner 1 al 12 (Shell)</b>          | <b>MEC</b> | <b>4.25 hrs</b> |      |
| Retiro pernos y tuercas                              | MEC        | 1 hr            | 1176 |
| Retiro de liners con Thunderbolt                     | MEC        | 1.25 hrs        | 1179 |
| Evacuación shell                                     | MEC        | 1 hr            | 1180 |
| Instalación Shell                                    | MEC        | 1 hr            | 1181 |
| <b>1° Giro de molino</b>                             | <b>MEC</b> | <b>1.25 hrs</b> |      |
| Desmovilización de personal y desbloqueo             | MEC        | 0.5 hrs         |      |
| Energización y giro del molino                       | MEC        | 0.5 hrs         | 1184 |
| Bloqueo Ingreso de personal                          | MEC        | 0.25 hrs        | 1185 |
| <b>Instalación de liner 13 al 36 (Shell)</b>         | <b>MEC</b> | <b>5.5 hrs</b>  |      |
| Armado andamios                                      | MEC        | 0.25 hrs        | 1186 |
| Retiro pernos y tuercas                              | MEC        | 1 hr            | 1186 |
| Retiro de liners con Thunderbolt                     | MEC        | 1.25 hrs        | 1189 |
| Evacuación shell                                     | MEC        | 1 hr            | 1190 |
| Instalación Shell                                    | MEC        | 2.25 hrs        | 1191 |
| <b>2° Giro de molino</b>                             | <b>MEC</b> | <b>1.25 hrs</b> |      |
| Desmovilización de personal y desbloqueo             | MEC        | 0.5 hrs         | 1192 |
| Energización y giro del molino                       | MEC        | 0.5 hrs         | 1194 |
| Bloqueo Ingreso de personal                          | MEC        | 0.25 hrs        | 1195 |
| <b>Instalación de liner 37 al 60 (Shell)</b>         | <b>MEC</b> | <b>5.5 hrs</b>  |      |

|   |            |                 |      |
|---|------------|-----------------|------|
| Armado andamios                               | MEC        | 0.25 hrs        | 1196 |
| Retiro pernos y tuercas                       | MEC        | 1 hr            | 1196 |
| Retiro de liners con Thunderbolt              | MEC        | 1.25 hrs        | 1199 |
| Evacuación shell                              | MEC        | 1 hr            | 1200 |
| Instalación Shell                             | MEC        | 2.25 hrs        | 1201 |
| <b>3° Giro de molino</b>                      | <b>MEC</b> | <b>1.25 hrs</b> |      |
| Desmovilización de personal y desbloqueo      | MEC        | 0.5 hrs         | 1202 |
| Energización y giro del molino                | MEC        | 0.5 hrs         | 1204 |
| Bloqueo Ingreso de personal                   | MEC        | 0.25 hrs        | 1205 |
| <b>Instalación de liner 61 al 84 (Shell)</b>  | <b>MEC</b> | <b>5.5 hrs</b>  |      |
| Armado andamios                               | MEC        | 0.25 hrs        | 1206 |
| Retiro pernos y tuercas                       | MEC        | 1 hr            | 1206 |
| Retiro de liners con Thunderbolt              | MEC        | 1.25 hrs        | 1209 |
| Evacuación shell                              | MEC        | 1 hr            | 1210 |
| Instalación Shell                             | MEC        | 2.25 hrs        | 1211 |
| <b>4° Giro de molino</b>                      | <b>MEC</b> | <b>1.25 hrs</b> |      |
| Desmovilización de personal y desbloqueo      | MEC        | 0.5 hrs         | 1212 |
| Energización y giro del molino                | MEC        | 0.5 hrs         | 1214 |
| Bloqueo Ingreso de personal                   | MEC        | 0.25 hrs        | 1215 |
| <b>Instalación de liner 85 al 108 (Shell)</b> | <b>MEC</b> | <b>5.5 hrs</b>  |      |
| Armado andamios                               | MEC        | 0.25 hrs        | 1216 |

|  |            |                 |      |
|--|------------|-----------------|------|
| Retiro pernos y tuercas                        | MEC        | 1 hr            | 1216 |
| Retiro de liners con Thunderbolt               | MEC        | 1.25 hrs        | 1219 |
| Evacuación shell                               | MEC        | 1 hr            | 1220 |
| Instalación Shell                              | MEC        | 2.25 hrs        | 1221 |
| <b>5° Giro de molino</b>                       | <b>MEC</b> | <b>1.25 hrs</b> |      |
| Desmovilización de personal y desbloqueo       | MEC        | 0.5 hrs         | 1222 |
| Energización y giro del molino                 | MEC        | 0.5 hrs         | 1224 |
| Bloqueo Ingreso de personal                    | MEC        | 0.25 hrs        | 1225 |
| <b>Instalación de liner 109 al 132 (Shell)</b> | <b>MEC</b> | <b>5.5 hrs</b>  |      |
| Armado andamios                                | MEC        | 0.25 hrs        | 1226 |
| Retiro pernos y tuercas                        | MEC        | 1 hr            | 1226 |
| Retiro de liners con Thunderbolt               | MEC        | 1.25 hrs        | 1229 |
| Evacuación shell                               | MEC        | 1 hr            | 1230 |
| Instalación shell                              | MEC        | 2.25 hrs        | 1231 |
| <b>6° Giro de molino</b>                       | <b>MEC</b> | <b>0 hrs</b>    |      |
| Desmovilización de personal y desbloqueo       | MEC        | 0 hrs           | 1232 |
| Energización y giro del molino                 | MEC        | 0 hrs           | 1234 |
| Bloqueo Ingreso de personal                    | MEC        | 0 hrs           | 1235 |
| <b>Instalación de liner 133 al 144 (Shell)</b> | <b>MEC</b> | <b>0 hrs</b>    |      |
| Armado andamios                                | MEC        | 0 hrs           | 1236 |
| Retiro pernos y tuercas                        | MEC        | 0 hrs           | 1238 |

|  |            |              |               |
|--|------------|--------------|---------------|
| Retiro de liners con Thunderbolt                                 | MEC        | 0 hrs        | 1239          |
| Evacuación shell   | MEC        | 0 hrs        | 1240          |
| Instalación shell  | MEC        | 0 hrs        | 1241          |
| <b>Preparativos para arranque</b>                                | <b>MEC</b> | <b>9 hrs</b> |               |
| Retiro máquina enlainadora                                       | MEC        | 1 hr         | 1242          |
| Instalación sello sándwich                                       | MEC        | 1 hr         | 1244          |
| Retiro tapa bloqueo housing                                      | MEC        | 0.5 hrs      | 1245          |
| Instalación chute alimentación                                   | MEC        | 2 hrs        | 1246          |
| Desbloqueo molino  | MEC        | 0.5 hrs      | 1247          |
| Pruebas de arranque  | MEC        | 2 hrs        | 1248          |
| Retiro andamios  | MEC        | 1 hr         | 1249          |
| Desbloqueo final molino  | MEC        | 1 hr         | 1250          |
| <b>Retorqueo/Cambio Pernos Cover Estator</b>                     | <b>MEC</b> | <b>5 hrs</b> |               |
| Bajar Solidos a Molinos  | OPE        | 0 hrs        | 1044FC+60 hrs |
| Posicionamiento Molino 0°-180°                                   | MEC        | 0.5 hrs      | 1267          |
| Bloqueo de Equipos   | MEC        | 0.25 hrs     | 1268          |
| Armado de Andamios (Estator y Voladizo)                          | MEC        | 1.5 hrs      | 1269          |
| Cambio, Ajuste de Pernos Cover Estator (2 grupos de 6 mecánicos) | MEC        | 2 hrs        | 1270          |
| Desarmado de Andamios (Solo Voladizo)                            | MEC        | 0.5 hrs      | 1271          |
| Desbloqueo de Equipo   | MEC        | 0.25 hrs     | 1272          |
| Limpieza agua matriz hacia canaleta chips descarga molino        | MEC        | 10 hrs       | 1044FC+52 hrs |

## Anexo 9: Gantt 67 horas

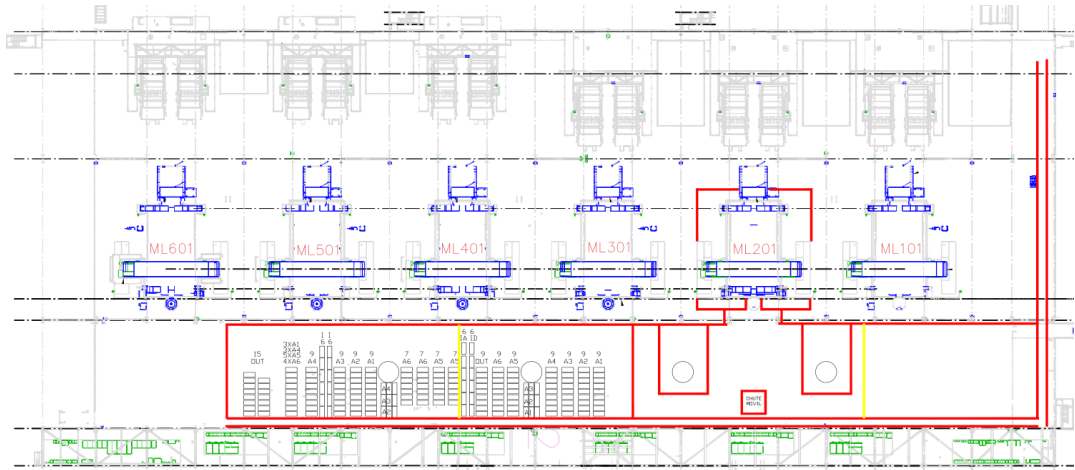
| Nombre de la tarea  | Duración        | Predecesoras |
|---|-----------------|--------------|
| <b>GANTT SERVICIO CAMBIO DE LINERS SHELL + TAPAS ML201 C2</b>             | <b>67 hrs</b>   |              |
| <b>CAMBIO DE LINERS SHELL + TAPAS ML201 C2</b>                            | <b>67 hrs</b>   |              |
| <b>ACTIVIDADES INICIALES</b>  | <b>6.25 hrs</b> |              |
| Limpieza de molino  | 2 hrs           |              |
| Bloqueo eléctrico   | 0.5 hrs         | 3            |
| Bloqueo mecánico  | 0.5 hrs         | 4            |
| Retiro del chute de alimentación  | 1.25 hrs        | 5            |
| Retiro de sello sándwich  | 1.5 hrs         | 6            |
| Posicionamiento de enlainadora  | 0.5 hrs         | 7            |
| Retiro de guardas de protección   | 1 hr            | 4            |
| Montaje de andamios   | 3.25 hrs        |              |
| <b>POSICIÓN N°1 (Giro 0) DESMONTAJE Y MONTAJE LINERS CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>9.5 hrs</b>  |              |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.5 hrs         | 8;9;10       |
| Previos de ingreso: Luminarias, Monitoreo gases                           | 0.35 hrs        | 12           |
| Corte y soltura de pernos de molino                                       | 1 hr            | 13           |
| <b>Desmontaje de revestimientos</b>                                       | <b>2.5 hrs</b>  | <b>14</b>    |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                       | 1.5 hrs         | 15           |
| <b>Montaje de liners nuevos</b>   | <b>3 hrs</b>    | <b>16</b>    |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 0.5 hrs         | 17           |
| Desbloqueo del equipo   | 9 min           | 18           |

|   |                 |           |
|---|-----------------|-----------|
| <b>POSICIÓN N°2 (Giro 1) DESMONTAJE Y MONTAJE LINERS<br/>CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>8.65 hrs</b> |           |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.5 hrs         | 19        |
| Corte y soldadura de pernos de molino   | 1 hr            | 21        |
| <b>Desmontaje de revestimientos</b>   | <b>2 hrs</b>    | <b>22</b> |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                           | 1.5 hrs         | 23        |
| <b>Montaje de liners nuevos</b>   | <b>3 hrs</b>    | <b>24</b> |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 0.5 hrs         | 25        |
| Desbloqueo del equipo   | 9 min           | 26        |
| <b>POSICIÓN N°3 (Giro 2) BOTADO Y MONTAJE LINERS<br/>CILINDRO Y TAPAS</b>     | <b>8.65 hrs</b> |           |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.5 hrs         | 27        |
| Corte y soldadura de pernos de molino   | 1 hr            | 29        |
| <b>Desmontaje de revestimientos</b>   | <b>2 hrs</b>    | <b>30</b> |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                           | 1.5 hrs         | 31        |
| <b>Montaje de liners nuevos</b>   | <b>3 hrs</b>    | <b>32</b> |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 0.5 hrs         | 33        |
| Desbloqueo del equipo   | 9 min           | 34        |
| <b>POSICIÓN N°4 (Giro 3) BOTADO Y MONTAJE LINERS<br/>CILINDRO Y TAPAS</b>     | <b>8.65 hrs</b> |           |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.5 hrs         | 35        |
| Corte y soldadura de pernos de molino   | 1 hr            | 37        |
| <b>Desmontaje de revestimientos</b>   | <b>2 hrs</b>    | <b>38</b> |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                           | 1.5 hrs         | 39        |
| <b>Montaje de liners nuevos</b>   | <b>3 hrs</b>    | <b>40</b> |

|   |                 |           |
|---|-----------------|-----------|
| Ajuste y torqueo de pernos  | 0.5 hrs         | 41        |
| Desbloqueo del equipo   | 9 min           | 42        |
| <b>POSICIÓN N°5 (Giro 4) BOTADO Y MONTAJE LINERS<br/>CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>8.65 hrs</b> |           |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.5 hrs         | 43        |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                     | 1 hr            | 45        |
| <b>Desmontaje de revestimientos</b>                                       | <b>2 hrs</b>    | <b>46</b> |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                       | 1.5 hrs         | 47        |
| <b>Montaje de liners nuevos</b>   | <b>3 hrs</b>    | <b>48</b> |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 0.5 hrs         | 49        |
| Desbloqueo del equipo   | 9 min           | 50        |
| <b>POSICIÓN N°6 (Giro 5) BOTADO Y MONTAJE LINERS<br/>CILINDRO Y TAPAS</b> | <b>8.65 hrs</b> |           |
| Giro y bloqueo del equipo   | 0.5 hrs         | 51        |
| Corte y soldadura de pernos de molino                                     | 1 hr            | 53        |
| <b>Desmontaje de revestimientos</b>                                       | <b>2 hrs</b>    | <b>54</b> |
| Retiro de liners desmontados al exterior del molino                       | 1.5 hrs         | 55        |
| <b>Montaje de liners nuevos</b>   | <b>3 hrs</b>    | <b>56</b> |
| Retiro de enlainadora   | 0.5 hrs         | 57        |
| Ajuste y torqueo de pernos  | 0.5 hrs         | 57        |
| Desbloqueo del equipo   | 9 min           | 59        |
| <b>ACTIVIDADES DE RETORQUEO Y CIERRE</b>                                  | <b>8 hrs</b>    |           |
| <b>POSICIÓN N°1 (Giro 0) RETORQUEO</b>                                    | <b>2 hrs</b>    |           |

|  |                 |       |
|--|-----------------|-------|
| Giro y bloqueo del equipo                    | 1 hr            | 60    |
| Retorqueo de pernos anillos 4, 5, 6          | 1 hr            | 63    |
| <b>POSICIÓN N°2 (Giro 1) RETORQUEO</b>       | <b>1.75 hrs</b> |       |
| Desbloqueo, giro y bloqueo del equipo        | 0.5 hrs         | 64;58 |
| Retorqueo de pernos anillos 4, 5, 6          | 1.25 hrs        | 66    |
| Instalación de sello sándwich                | 1 hr            | 66    |
| <b>POSICIÓN N°3 (Giro 2) RETORQUEO</b>       | <b>1.5 hrs</b>  |       |
| Desbloqueo, giro y bloqueo del equipo        | 0.5 hrs         | 67;68 |
| Retorqueo de pernos anillos 4, 5, 6          | 1 hr            | 70    |
| Cierre de chute de alimentación              | 1 hr            | 70    |
| <b>POSICIÓN N°4 (Giro 3) RETORQUEO</b>       | <b>1.5 hrs</b>  |       |
| Desbloqueo, giro y bloqueo del equipo        | 0.5 hrs         | 71;72 |
| Retorqueo de pernos anillos 4, 5, 6          | 1 hr            | 74    |
| Desarmado de andamios e instalación de tapas | 1 hr            | 74    |
| <b>DESBLOQUEO Y PRUEBAS</b>                  | <b>1.25 hrs</b> |       |
| Desbloqueo del equipo                        | 0.5 hrs         | 75;76 |
| Prueba hidrostática y sellado                | 0.75 hrs        | 78    |

## Anexo 10: Posicionamiento de los revestimientos



ELEV. DE PLANTA DISTRIBUCION

ESPECIFICACION TECNICA

- DEMARCACION DURANTE OPERACIONES
- DEMARCACION DURANTE LIMPIEZA

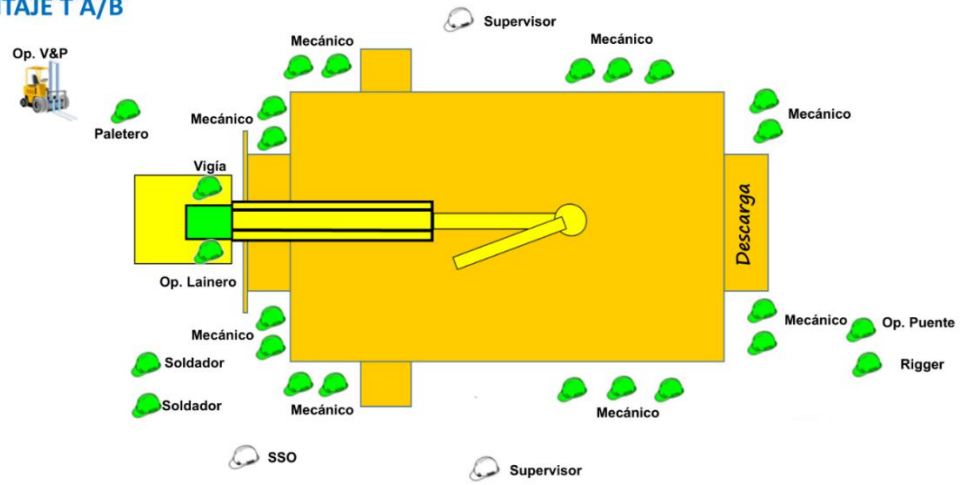


## Anexo 11: Plataformas

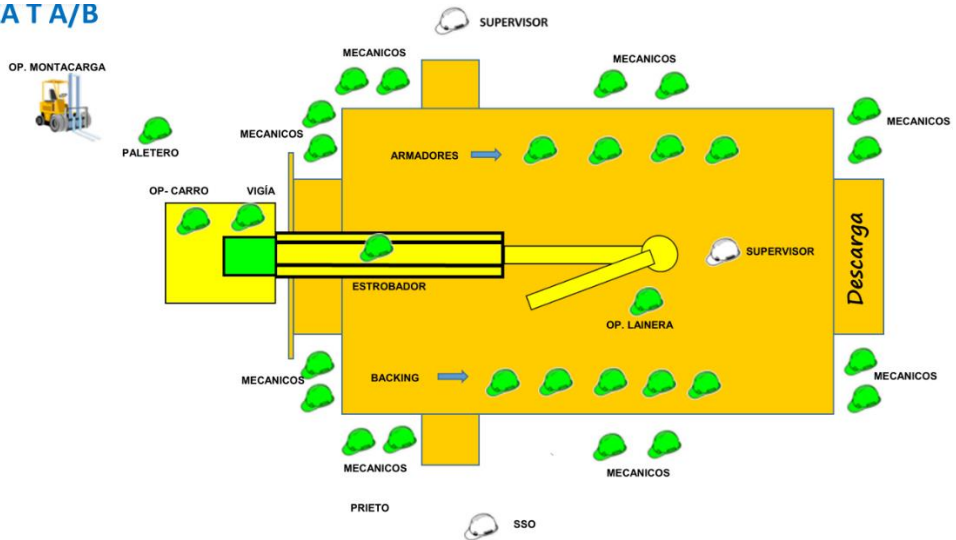


# Anexo 12: Distribución de personal

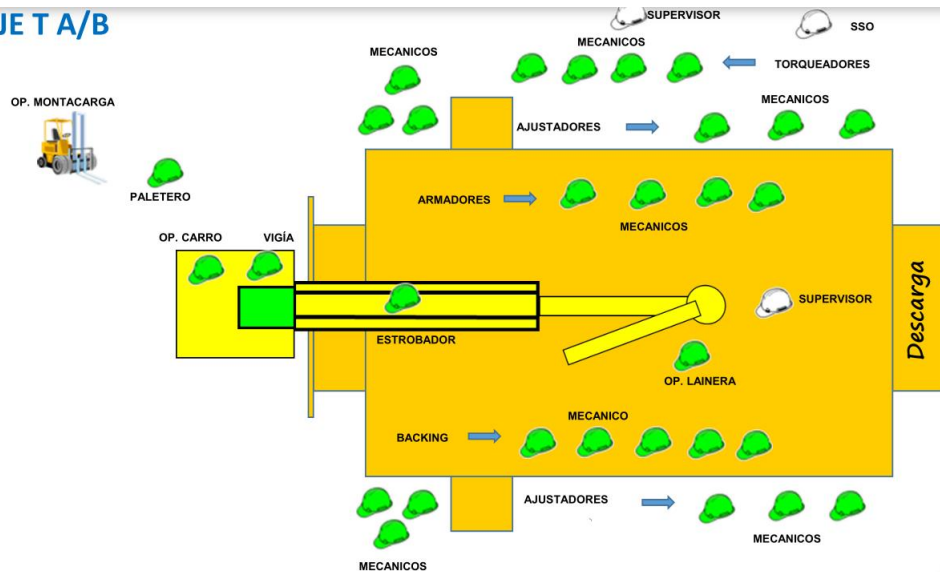
## DESMONTAJE T A/B



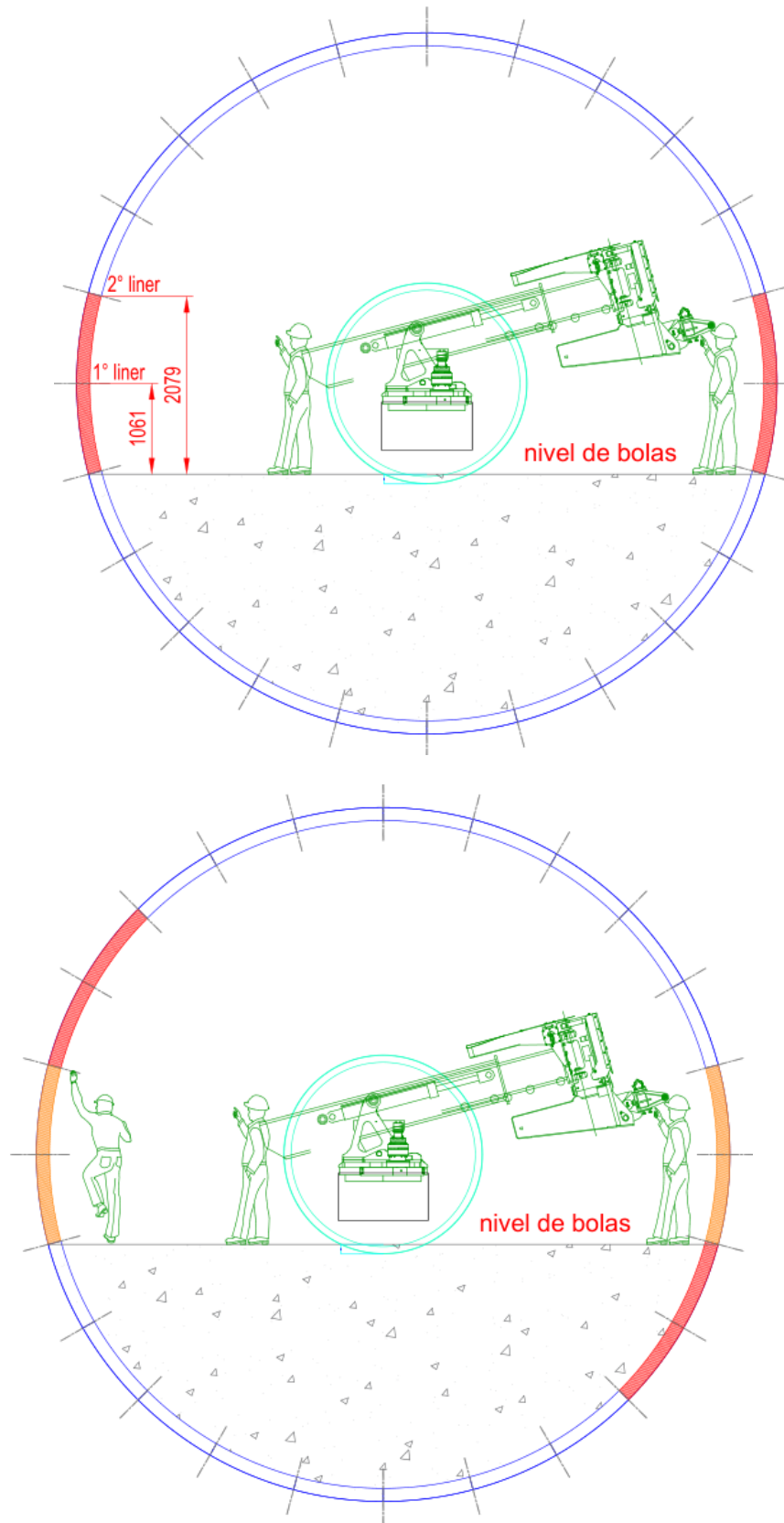
## LIMPIEZA T A/B

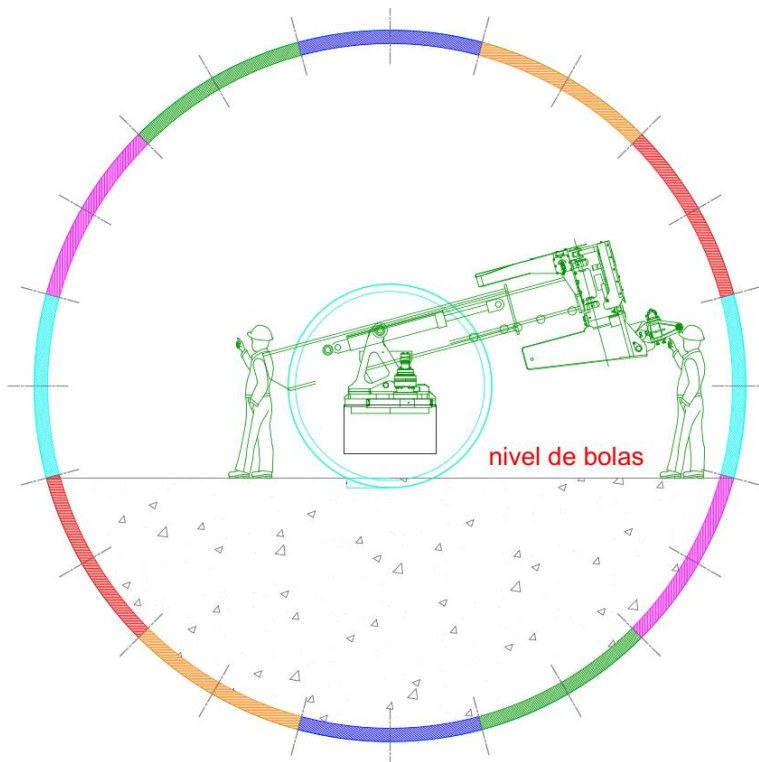
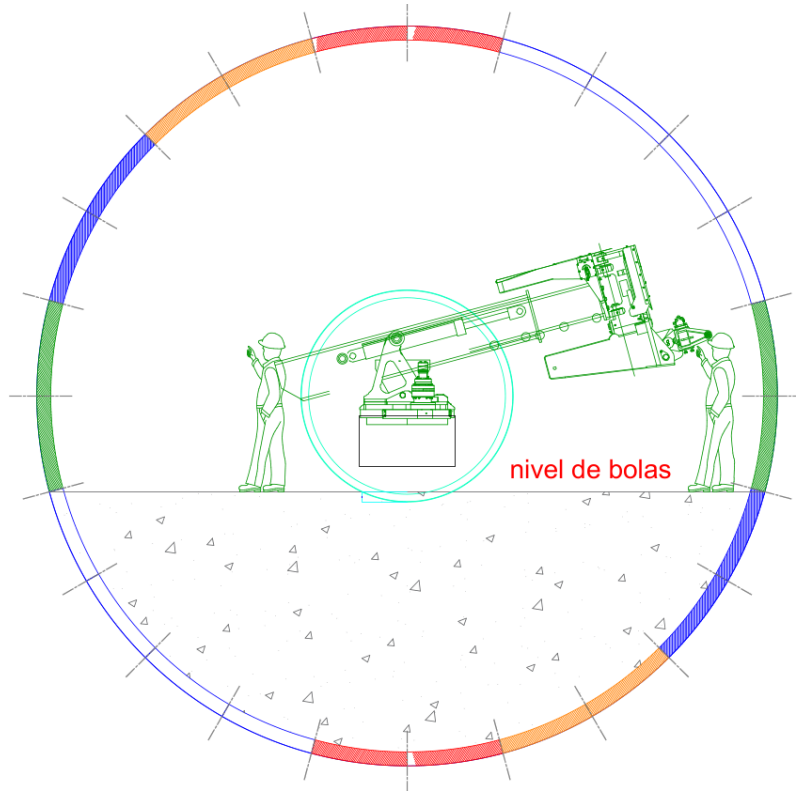


## MONTAJE T A/B



## Anexo 13: Giros del molino de bolas





**DISTRIBUCIÓN Y AVANCE DE LINERS POR POSICIÓN DEL MOLINO**

| POSICIONES DEL MOLINO | DESMONTAJE        |            |            |              |                 |                 |                 | MONTAJE           |            |            |              |                 |                 |                 | AVANCE ACUMULADO EN LINER | AVANCE ACUMULADO EN % |
|-----------------------|-------------------|------------|------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------|------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|
|                       | TAPA ALIMENTACIÓN |            | SHELL      |              |                 | TAPA DESCARGA   |                 | TAPA ALIMENTACIÓN |            | SHELL      |              |                 | TAPA DESCARGA   |                 |                           |                       |
|                       | OUTER FEED        | INNER FEED | PLATE FEED | PLATE CENTER | PLATE DISCHARGE | INNER DISCHARGE | OUTER DISCHARGE | OUTER FEED        | INNER FEED | PLATE FEED | PLATE CENTER | PLATE DISCHARGE | INNER DISCHARGE | OUTER DISCHARGE |                           |                       |
| POSICIÓN N°1          | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 32                        | 16.67                 |
| POSICIÓN N°2          | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 64                        | 33.33                 |
| POSICIÓN N°3          | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 96                        | 50.00                 |
| POSICIÓN N°4          | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 128                       | 66.67                 |
| POSICIÓN N°5          | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 160                       | 83.33                 |
| POSICIÓN N°6          | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 2                 | 2          | 4          | 16           | 4               | 2               | 2               | 192                       | 100.00                |

## Anexo 14: Herramienta retiro liner molino de bolas

