



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**MANTENIMIENTO DE MOLINO DE BOLAS METSO TIPO SAG
DE 3,532 TN/HR EN UNIDAD MINERA LAS BAMBAS - MMG**

PRESENTADO POR

BACHILLER REISER EFRAIN QUISPE OLIVARES

ASESOR

MGR. JAVIER REMBERTO ZEBALLOS CHAVEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2025



Universidad José Carlos Mariátegui
FACULTAD DE CIENCIAS
“UNIDAD DE INVESTIGACIÓN”

“Año de la Recuperación y la Consolidación de la Economía Peruana”

00664-2025

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD


La que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias, certifica que el/la: Trabajo de Investigación (___) / Tesis (___) / Trabajo de Suficiencia Profesional (_X_) / Trabajo Académico (___), titulado: **MANTENIMIENTO DE MOLINO DE BOLAS METSO TIPO SAG DE 3,532 TN/HR EN UNIDAD MINERA LAS BAMBAS - MMG**, presentado por el bachiller: **QUISPE OLIVARES, Reiser Efrain**, para obtener el: Grado Académico (___) / Título Profesional (_X_) / Título de Segunda Especialidad (___) de: **INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**, asesorado por el Mgr. Javier Remberto Zeballos Chavez, designado con Resolución de Decanato N° 2241-2025-FACS-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN obteniendo un porcentaje del **16%**, el cual se encuentra dentro de los parámetros **PERMITIDOS** por la Universidad José Carlos Mariátegui, de conformidad a la normativa interna, considerándolo apto para su publicación en el Repositorio Institucional.

Se expide la presente para los fines pertinentes.

Moquegua, 24 de Setiembre de 2025



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI
FACULTAD DE CIENCIAS


Dra. **DORA AMALIA MAYTA HUIZA**
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

ÍNDICE

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	I
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XV

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.2 ASPECTOS GENERALES.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	2
1.2.1 NOMBRE DE LA EMPRESA.....	2
1.2.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	2
1.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	2
1.3 CONTEXTO SOCIO ECONÓMICO, DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA INSTITUCIÓN, RECURSOS.....	4
1.3.1 CONTEXTO SOCIOECONÓMICO.....	4
1.3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA INSTITUCIÓN.....	4
1.3.3 RECURSOS DE LA EMPRESA.....	4
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	5

1.4.1	EXPERIENCIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	5
1.4.2	CONOCIMIENTO DE EQUIPOS Y COMPONENTES.....	6
1.4.3	TRABAJO CON SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	6
1.4.4	SEGURIDAD Y NORMATIVAS MINERAS.....	6
1.4.5	TRABAJO EN EQUIPO Y GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	6
1.4.6	ANÁLISIS DE FALLAS Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.....	7
1.5	EXPLICACIÓN DEL CARGO.....	7
1.5.1	PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	7
1.5.2	GESTIÓN DE RECURSOS Y LOGÍSTICA.....	8
1.5.3	COORDINACIÓN CON ÁREAS CLAVE.....	8
1.5.4	USO DE SOFTWARE Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN.....	9
1.5.5	ANÁLISIS DE DATOS Y MEJORA CONTINUA.....	9
1.5.6	IMPORTANCIA DEL PLANNER DE MANTENIMIENTO EN EL PROYECTO.....	9
1.6	PROPÓSITO DEL PUESTO.....	10
1.6.1	PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DEL MANTENIMIENTO.....	10
1.6.2	OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS.....	10
1.6.3	COORDINACIÓN Y COMUNICACIÓN EFICIENTE.....	10
1.6.4	USO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN.....	11
1.6.5	REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE INACTIVIDAD.....	11
1.6.6	GARANTÍA DE SEGURIDAD Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO.....	11
1.6.7	ANÁLISIS Y MEJORA CONTINUA.....	11
1.7	PRODUCTO O PROCESO QUE SERÁ OBJETO DEL INFORME.....	12
1.7.1	PRODUCTOS.....	12
1.7.2	PROCESOS.....	13

1.8	RESULTADOS CONCRETOS QUE SE HA ALCANZADO.....	14
1.8.1	AUMENTO DE LA DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DEL MOLINO.....	14
1.8.2	OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERATIVA.....	14
1.8.3	MEJORA DE LA SEGURIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE.....	15
1.8.4	MEJORA CONTINUA Y OPTIMIZACIÓN.....	15

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN

2.1	EXPLICACIÓN DEL PAPEL QUE JUGARON LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA EN EL DESEMPEÑO LABORAL.....	16
2.1.1	PAPEL DE LA TEORÍA.....	16
2.1.1.1	Fundamentos técnicos.....	16
2.1.1.2	Análisis y diagnóstico.....	17
2.1.1.3	Planificación y diseño.....	17
2.1.2	PAPEL DE LA PRÁCTICA.....	17
2.1.2.1	Experiencia en campo.....	17
2.1.2.2	Resolución de problemas.....	18
2.1.2.3	Trabajo en equipo.....	18
2.1.3	TEORÍA Y PRÁCTICA COMBINADA.....	18
2.1.4	FUNDAMENTO TEÓRICO DE MOLINOS DE BOLAS SAG DE METSO.....	18
2.1.4.1	Características generales.....	19
2.1.4.2	Componentes principales.....	19
a)	Cilindro o cuerpo del molino.....	19
b)	Revestimientos.....	19
c)	Trunnion (Trunnion Bearings).....	19
d)	Sistema de transmisión.....	20

e) Alimentación y descarga.	20
f) Sistema de lubricación.	20
2.1.4.3 Principio de operación.....	20
2.1.4.4 Ventajas del molino SAG METSO.	21
2.1.5 COMPONENTES Y FUNCIONES DEL MOLINO DE BOLAS METSO TIPO SAG. .	21
2.1.5.1 Cuerpo o cilindro del molino.	21
2.1.5.2 Trunnion (cojinetes de soporte).	22
2.1.5.3 Sistema de transmisión.....	22
a) Motor principal.....	22
b) Reductor y acoplamiento.....	22
c) Corona y piñón.....	22
2.1.5.4 Revestimientos internos.	23
2.1.5.5 Sistema de alimentación.....	23
2.1.5.6 Sistema de descarga.	23
2.1.5.7 Sistema de lubricación.	24
2.1.5.8 Sistema de monitoreo y control.....	24
2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES, METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO.....	25
2.2.1 ACCIONES PRINCIPALES.	25
2.2.2 METODOLOGÍA.	26
2.2.3 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN.	26
2.2.3.1 Planificación y preparación.....	27
2.2.3.2 Inspección y diagnóstico.	27
2.2.3.3 Reparación y reemplazo.....	27
2.2.3.4 Montaje y alineación.....	27

2.2.3.5 Pruebas y puesta en marcha.	27
--	----

CAPÍTULO III APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

3.1 APORTES UTILIZANDO LOS CONOCIMIENTOS O BASES TEÓRICAS ADQUIRIDAS DURANTE LA CARRERA.....	28
3.1.1 MECÁNICA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.	28
3.1.2 ELECTRICIDAD Y AUTOMATIZACIÓN.	29
3.1.3 SEGURIDAD Y GESTIÓN DE PROYECTOS.	29
3.1.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOLINO DE BOLAS METSO TIPO SAG DE 3,532 T/H.....	30
3.2 DESARROLLO DE EXPERIENCIAS	32
3.2.1 PROCEDIMIENTO DEL MANTENIMIENTO DEL MOLINO.	32
3.2.1.1 Planificación del mantenimiento.....	32
3.2.1.2 Seguridad y preparación del área.	32
3.2.1.3 Inspección previa.	33
3.2.1.4 Desmontaje de componentes.....	33
3.2.1.5 Inspección interna.	33
3.2.1.6. Mantenimiento y reemplazo.....	34
3.2.1.7 Montaje y cierre.	34
3.2.1.8 Pruebas y puesta en marcha.	34
3.2.1.9 Documentación y registro.	34
3.2.2 CAMBIO DE REVESTIMIENTOS.	35
3.2.2.1 Planificación del cambio de revestimientos.....	35
3.2.2.2 Seguridad y preparación del área.	35
3.2.2.3 Retiro de revestimientos usados.....	36

a) Acceso al molino.....	36
b) Remoción de los revestimientos desgastados.....	36
3.2.2.4 Instalación de los nuevos revestimientos.....	36
3.2.2.5 Cierre y pruebas.....	37
3.2.2.6 Registro y documentación.....	37
3.2.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	38
3.2.3.1 Aumento de la disponibilidad y confiabilidad del molino.....	38
3.2.3.2 Optimización del desempeño y eficiencia operativa.....	38
3.2.3.3 Reducción del desgaste de componentes claves.....	39
3.2.3.4 Seguridad operacional y prevención de accidentes.....	39
3.2.3.5 Reducción de costos de mantenimiento correctivo.....	40
3.2.4 PERSONAL.....	41
3.2.5 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.....	43
3.2.6 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES UTILIZADOS.....	45
3.2.6.1 Equipos.....	45
3.2.6.2 Herramientas.....	46
3.2.6.3 Materiales.....	46
3.2.6.4 Consideraciones adicionales.....	47
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Especificación técnicas de un molino de bolas METSO tipo SAG</i>	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Organigrama de la empresa</i>	3
Figura 2 <i>Molino de bolas de las Bambas</i>	30
Figura 3 <i>Mantenimiento de molino de bolas</i>	38
Figura 4 <i>Molino de bolas operativo</i>	39
Figura 5 <i>Unidad minera Las Bambas</i>	41

RESUMEN

Este trabajo de suficiencia profesional se enfoca en el análisis detallado del mantenimiento del Molino de Bolas METSO tipo SAG, crucial para la operación de la Unidad Minera Las Bambas, operada por MMG. Se examinan las estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, así como las prácticas de optimización implementadas para asegurar la máxima disponibilidad y eficiencia del molino. Se analizan los componentes críticos del molino, incluyendo revestimientos, rodamientos y sistemas de transmisión, y se evalúan los procedimientos de inspección y monitoreo de condición. El estudio también aborda los desafíos específicos asociados con el mantenimiento de un molino de gran capacidad en un entorno minero de alta demanda, como la Unidad Minera Las Bambas. Los resultados de la investigación proporcionan información valiosa sobre las mejores prácticas en el mantenimiento de molinos SAG, con el objetivo de minimizar el tiempo de inactividad, reducir los costos operativos y maximizar la producción. Se presentan recomendaciones para la mejora continua de los procesos de mantenimiento, incluyendo la implementación de tecnologías de monitoreo avanzado y la optimización de la gestión de repuestos.

Palabras clave: Molino de bolas, mantenimiento, optimización, seguridad.

ABSTRACT

This research work focuses on the detailed analysis of the maintenance of the METSO SAG type Ball Mill, crucial for the operation of the Las Bambas Mining Unit, operated by MMG. Preventive and corrective maintenance strategies are examined, as well as optimization practices implemented to ensure maximum mill availability and efficiency. Critical mill components are analyzed, including liners, bearings and transmission systems, and inspection and condition monitoring procedures are evaluated. The study also addresses the specific challenges associated with maintaining a large capacity mill in a high demand mining environment, such as the Las Bambas Mining Unit. The research results provide valuable information on best practices in SAG mill maintenance, with the goal of minimizing downtime, reducing operating costs and maximizing production. Recommendations are presented for the continuous improvement of maintenance processes, including the implementation of advanced monitoring technologies and the optimization of spare parts management.

Keywords: Ball mill, maintenance, optimization, safety.

INTRODUCCIÓN

La industria minera es uno de los sectores más importantes de la economía peruana, y la Unidad Minera Las Bambas, propiedad de MMG, es una de las operaciones mineras más grandes y complejas del país. En este contexto, el mantenimiento de los equipos y maquinarias es fundamental para garantizar la eficiencia y productividad de la operación minera.

El Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR es uno de los equipos más críticos en la Unidad Minera Las Bambas, ya que es responsable de la molienda y procesamiento de los minerales extraídos. Sin embargo, debido a la complejidad y el tamaño de este equipo, su mantenimiento es un desafío constante para los equipos de mantenimiento de la mina.

En este sentido, este trabajo de suficiencia profesional se centra en el mantenimiento del Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en la Unidad Minera Las Bambas, con el objetivo de analizar y evaluar las prácticas y procedimientos de mantenimiento actuales, y proponer mejoras y recomendaciones para optimizar el rendimiento y la disponibilidad de este equipo crítico.

A través de una revisión exhaustiva de la literatura y de la observación directa de las prácticas de mantenimiento en la Unidad Minera Las Bambas, este trabajo de suficiencia busca contribuir al desarrollo de estrategias y tácticas de mantenimiento más efectivas y eficientes para el Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, y mejorar la productividad y competitividad de la operación minera en general.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

1.1 Antecedentes

El trabajo de suficiencia profesional "Mantenimiento de Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en Unidad Minera Las Bambas - MMG" se centra en el análisis y mejora del mantenimiento de un equipo crítico en el procesamiento de minerales en la mina Las Bambas, operada por MMG. A continuación, se describen los antecedentes y aspectos generales de este estudio:

- Unidad Minera Las Bambas: Ubicada en la región de Apurímac, Perú, es una de las minas de cobre más grandes del mundo. Opera con tecnología avanzada y grandes volúmenes de producción.
- Molino SAG (Semi-Autogenous Grinding): Es un equipo clave en el circuito de molienda de la planta concentradora. Su función es reducir el tamaño de las rocas mediante la acción de bolas de acero y la misma carga del mineral.
- Importancia del Mantenimiento: Debido a la alta demanda de producción (3,532 TN/HR), cualquier falla en el molino SAG puede generar pérdidas significativas en la operación minera, por lo que un plan de mantenimiento adecuado es fundamental.

1.1.2 Aspectos generales.

- Objetivo Principal: Evaluar y optimizar las estrategias de mantenimiento del molino SAG METSO para mejorar su disponibilidad y eficiencia operativa.
- Metodología: Se analizan los procedimientos actuales de mantenimiento, se identifican fallas recurrentes y se proponen mejoras con base en metodologías como RCM (Reliability-Centered Maintenance) y TPM (Total Productive Maintenance).
- Resultados Esperados: Reducción de tiempos de inactividad, incremento en la vida útil de los componentes del molino y mayor eficiencia en la molienda.
- Este trabajo es clave para garantizar la sostenibilidad operativa de Las Bambas, optimizando el mantenimiento de uno de sus equipos más importantes

1.2 Descripción y organización de la empresa

1.2.1 Nombre de la empresa.

Empresa GGM Contratistas Generales S.A.C

1.2.2 Ubicación de la empresa.

Los Álamos s/n., Challhuahuacho, Cotabambas - Apurímac

1.2.3 Descripción de la empresa.

Somos una empresa peruana con un fuerte compromiso con la excelencia en el sector de la construcción, especialmente en proyectos mineros y siderúrgicos. Desde nuestra fundación en 2014, hemos establecido una sólida presencia en la industria minera, con nuestra sede principal ubicada en Chalhuahuacho, Apurímac.

Contamos con un equipo de profesionales altamente capacitados y experimentados, dedicados a asegurar la calidad superior en cada proyecto que realizamos. Te invitamos a conocer nuestra amplia gama de servicios y a contactarnos para cualquier consulta o necesidad que tengas.

Nuestra misión es impulsar constantemente la innovación en el diseño, desarrollo, fabricación y mantenimiento de estructuras metálicas e infraestructuras.

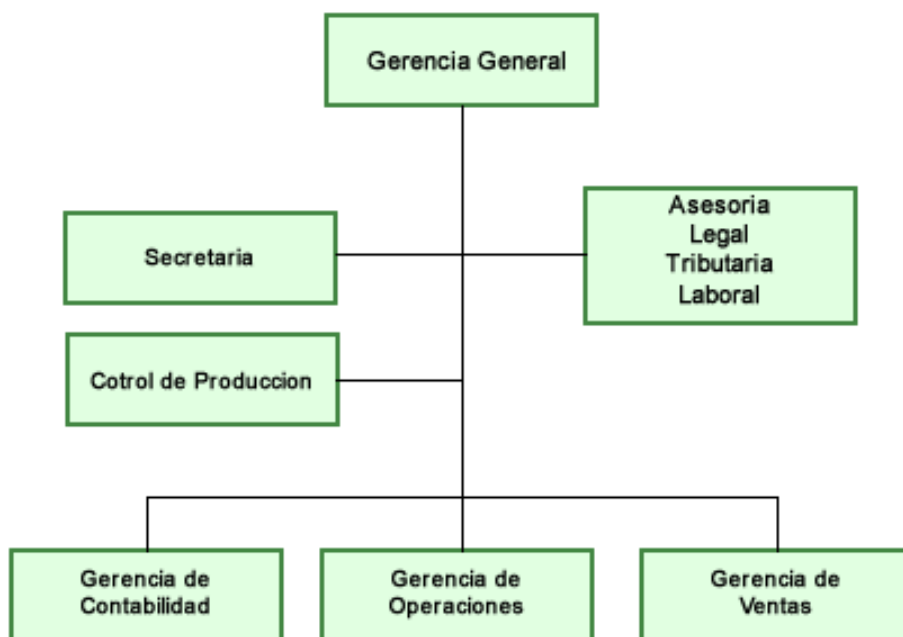
Nos comprometemos a brindar servicios de mantenimiento preventivo de la más alta calidad.

Nos esforzamos por cumplir con los estándares más rigurosos en cuanto a calidad, seguridad, cuidado del medio ambiente y responsabilidad social.

Nuestro principal objetivo es garantizar resultados óptimos a largo plazo, satisfaciendo las necesidades y expectativas de nuestros clientes, y contribuyendo al desarrollo sostenible de nuestra comunidad.

Figura 1

Organigrama de la empresa



1.3 Contexto socio económico, descripción del área de la institución, recursos.

El contexto socioeconómico, descripción del área y recursos de GGM Contratistas Generales S.A.C. para el Proyecto de Mantenimiento del Molino de Bolas son los siguientes:

1.3.1 Contexto socioeconómico.

GGM Contratistas Generales S.A.C. opera en un contexto socioeconómico marcado por la industria minera en Perú. La empresa se especializa en proyectos de gran escala para la minería y la siderurgia, lo que la posiciona en un sector estratégico para la economía peruana. La industria minera genera un impacto significativo en el desarrollo económico del país, creando empleo y contribuyendo al PIB. Sin embargo, también presenta desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental y social.

1.3.2 Descripción del área de la institución.

GGM Contratistas Generales S.A.C. se describe como una empresa peruana dedicada a la construcción de gran escala para la minería y la siderurgia. La empresa ofrece una amplia gama de servicios, incluyendo ingeniería y construcción, servicios mineros, electromecánicos, civiles, mantenimiento mecánico de plantas de procesos y alquiler de maquinaria pesada. Su enfoque en la construcción de gran escala para la industria minera indica que la empresa posee experiencia y capacidad para gestionar proyectos complejos y de alto impacto.

1.3.3 Recursos de la empresa.

GGM Contratistas Generales S.A.C. destaca su solidez y capacidad financiera, lo que le permite proporcionar garantías de cumplimiento para sus

obligaciones. La empresa cuenta con un capital que cubre todos los proyectos que se emprenden, lo que indica una capacidad financiera sólida. Además, la empresa se compromete con la formación constante de sus colaboradores en materia ambiental, lo que sugiere un enfoque en la sostenibilidad y el desarrollo de capital humano.

En resumen: GGM Contratistas Generales S.A.C. posee las características necesarias para ejecutar el proyecto de mantenimiento del Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en la Unidad Minera Las Bambas - MMG. La empresa cuenta con experiencia en proyectos de gran escala para la minería, solidez financiera y un compromiso con la sostenibilidad ambiental y social. Su capacidad para gestionar proyectos complejos y su enfoque en la formación de sus colaboradores la posicionan como una empresa confiable para llevar a cabo este proyecto

1.4 Descripción de la experiencia

En mi calidad de bachiller en ingeniería mecánica-eléctrica que participe en el mantenimiento de un molino de bolas METSO tipo SAG en la Unidad Minera Las Bambas - MMG pude obtener diversas experiencias técnicas y operativas clave para mi desarrollo profesional. Algunas de ellas incluyen:

1.4.1 Experiencia en mantenimiento industrial.

- Aplicación de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en equipos de gran envergadura.
- Uso de herramientas de monitoreo de condición, como análisis de vibraciones, ultrasonido y termografía.

- Evaluación del desgaste de revestimientos internos, lifters y liners del molino.

1.4.2 Conocimiento de equipos y componentes.

- Funcionamiento de un molino SAG y sus principales partes: motor anillo (gearless), piñón-corona (si aplica), trunnions, chumaceras, sistema de lubricación, entre otros.
- Interacción con sistemas auxiliares: sistemas hidráulicos, de lubricación, de enfriamiento y eléctricos.
- Revisión y mantenimiento de acoplamientos y reductores de velocidad.

1.4.3 Trabajo con sistemas eléctricos y electrónicos.

- Operación y diagnóstico de motores síncronos de media o alta tensión.
- Configuración y mantenimiento de variadores de frecuencia (VDF) y sistemas de control.
- Análisis de fallas en sensores, PLCs y SCADA del sistema de automatización del molino.

1.4.4 Seguridad y normativas mineras.

- Aplicación de estándares de seguridad minera en trabajos con maquinaria pesada.
- Manejo de procedimientos de bloqueo y etiquetado (LOTO).
- Trabajo en alturas, espacios confinados y manipulación de equipos críticos bajo estándares de seguridad.

1.4.5 Trabajo en equipo y gestión de mantenimiento.

- Coordinación con ingenieros senior, supervisores y técnicos en tareas de mantenimiento.

- Uso de software de gestión de mantenimiento (SAP, MAXIMO u otros).
- Elaboración de reportes técnicos y análisis de fallas para optimizar la operación del molino.

1.4.6 Análisis de fallas y optimización de procesos.

- Diagnóstico y solución de desalineación, vibraciones excesivas o fallas en cojinetes.
- Implementación de mejoras en el mantenimiento y operación del molino para incrementar la eficiencia y disponibilidad del equipo.
- Evaluación del consumo energético y optimización de la transmisión mecánica.

En conclusión, este tipo de proyectos proporciona una formación integral en mantenimiento mecánico y eléctrico de equipos de gran escala en minería, lo que fortalece las habilidades técnicas, de gestión y de seguridad del bachiller. Además, permite familiarizarse con tecnologías avanzadas utilizadas en la industria minera.

1.5 Explicación del cargo

El Planner de Mantenimiento desempeña un papel clave en la planificación, organización y control de las actividades de mantenimiento del molino SAG. Su principal responsabilidad es garantizar que los recursos (materiales, personal y herramientas) estén disponibles en el momento adecuado, minimizando los tiempos de inactividad y optimizando la ejecución del mantenimiento. Las funciones del Planner de Mantenimiento en el Proyecto son las siguientes:

1.5.1 Planificación y programación de mantenimiento.

- Elaborar el plan de mantenimiento considerando los procedimientos técnicos y los tiempos de intervención.

- Coordinar la programación del mantenimiento preventivo y correctivo del molino SAG.
- Analizar el historial de fallas y reportes de inspección para optimizar los tiempos de mantenimiento.
- Definir la secuencia de actividades para minimizar impactos en la producción.

1.5.2 Gestión de recursos y logística.

- Asegurar la disponibilidad de repuestos, herramientas y materiales necesarios antes de la parada de mantenimiento.
- Coordinar con proveedores y almacenes la entrega oportuna de liners, lifters, lubricantes, pernos, etc.
- Gestionar la movilización del personal técnico especializado (mecánicos, eléctricos, soldadores).

1.5.3 Coordinación con áreas clave.

- Trabajar en conjunto con supervisores, ingenieros de mantenimiento y operaciones para asegurar que el mantenimiento se ejecute según lo planificado.
- Coordinar con el área de seguridad para garantizar el cumplimiento de protocolos (LOTO, trabajos en altura, espacios confinados, etc.).
- Alinear el mantenimiento con la producción minera para evitar impactos en la molienda.

1.5.4 Uso de software y herramientas de gestión.

- Manejo de software de mantenimiento (SAP PM, MAXIMO, PRIMAVERA P6, MS Project) para la planificación y control de actividades.
- Generación de órdenes de trabajo (OTs) y asignación de tareas en el sistema.
- Seguimiento del cumplimiento de KPIs como MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas).

1.5.5 Análisis de datos y mejora continua.

- Evaluar causas de fallas recurrentes y proponer mejoras en el mantenimiento del molino.
- Analizar el desgaste de componentes críticos para optimizar la programación de reemplazos.
- Implementar estrategias para reducir los tiempos de intervención y mejorar la disponibilidad del equipo.

1.5.6 Importancia del planner de mantenimiento en el proyecto.

- Evita retrasos en el mantenimiento al asegurar que todos los recursos estén listos antes de la intervención.
- Optimiza costos, reduciendo tiempos improductivos y gestionando eficientemente los repuestos.
- Asegura la seguridad al coordinar actividades bajo estándares y normativas mineras.
- Contribuye a la eficiencia operativa, garantizando que el molino SAG esté en óptimas condiciones para su operación.

El Planner de Mantenimiento es esencial para el éxito del proyecto, ya que su labor permite ejecutar un mantenimiento eficiente, seguro y alineado con los objetivos de producción de la unidad minera Las Bambas.

1.6 Propósito del puesto

El propósito del Planner de Mantenimiento en este proyecto es garantizar una ejecución eficiente, segura y bien organizada del mantenimiento del molino SAG, optimizando los recursos, reduciendo tiempos de inactividad y asegurando la disponibilidad operativa del equipo. Los objetivos específicos del cargo son:

1.6.1 Planificación estratégica del mantenimiento.

- Diseñar y coordinar un plan de mantenimiento detallado para la intervención del molino, asegurando el cumplimiento de plazos y procedimientos.
- Prever y gestionar posibles riesgos o imprevistos que puedan afectar la ejecución del mantenimiento.

1.6.2 Optimización de recursos.

- Asegurar la disponibilidad de materiales, herramientas y repuestos críticos antes del inicio del mantenimiento.
- Coordinar con proveedores y almacenes para evitar retrasos en la entrega de componentes esenciales.
- Gestionar la asignación de personal técnico especializado, asegurando que las tareas sean realizadas por profesionales capacitados.

1.6.3 Coordinación y comunicación eficiente.

- Servir como nexo entre las áreas de mantenimiento, operaciones, seguridad y logística para garantizar una ejecución fluida del proyecto.

- Coordinar reuniones previas al mantenimiento con todos los involucrados para definir roles, tiempos y procedimientos.

1.6.4 Uso de herramientas de gestión.

- Implementar y administrar software de gestión de mantenimiento (SAP PM, MAXIMO, PRIMAVERA P6, MS Project) para el seguimiento y control de actividades.
- Elaborar órdenes de trabajo (OTs) y generar reportes sobre el progreso del mantenimiento.

1.6.5 Reducción de tiempos de inactividad.

- Minimizar los tiempos de parada del molino mediante una planificación eficiente y un uso óptimo de los recursos.
- Asegurar que el mantenimiento se realice dentro del cronograma establecido, evitando impactos en la producción minera.

1.6.6 Garantía de seguridad y cumplimiento normativo.

- Asegurar que todas las actividades de mantenimiento cumplan con los protocolos de seguridad minera (LOTO, espacios confinados, trabajos en altura, etc.).
- Verificar que el mantenimiento se realice siguiendo las mejores prácticas y normativas vigentes.

1.6.7 Análisis y mejora continua.

- Analizar el desempeño del mantenimiento y detectar oportunidades de mejora para futuras intervenciones.
- Identificar causas raíz de fallas y proponer estrategias para optimizar la disponibilidad y confiabilidad del molino SAG.

- Importancia del Puesto en el Proyecto

El Planner de Mantenimiento desempeña un rol fundamental al asegurar que el mantenimiento del molino SAG se ejecute con precisión, eficiencia y seguridad, lo que impacta directamente en la continuidad operativa y la rentabilidad de la unidad minera Las Bambas. Su trabajo permite reducir costos, minimizar tiempos de inactividad y garantizar que el equipo esté en óptimas condiciones para su funcionamiento.

1.7 Producto o proceso que será objeto del informe

A continuación, se presenta los productos o procesos objeto del informe de suficiencia sobre "Mantenimiento de Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en Unidad Minera Las Bambas - MMG":

1.7.1 Productos.

- Plan de mantenimiento preventivo: Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para el Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, que incluya la programación de tareas de mantenimiento, la identificación de partes críticas y la determinación de los recursos necesarios.
- Procedimiento de mantenimiento correctivo: Desarrollar un procedimiento de mantenimiento correctivo para el Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, que incluya la identificación de fallas comunes, la determinación de las causas raíces y la implementación de soluciones efectivas.
- Herramienta de diagnóstico y monitoreo: Desarrollar una herramienta de diagnóstico y monitoreo para el Molino de Bolas METSO tipo SAG de

3,532 TN/HR, que permita la detección temprana de problemas y la optimización del rendimiento del equipo.

- Guía de prácticas de mantenimiento: Desarrollar una guía de prácticas de mantenimiento para el Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, que incluya recomendaciones y procedimientos para la realización de tareas de mantenimiento de manera segura y eficiente.

1.7.2 Procesos.

- Análisis de la confiabilidad del equipo: Realizar un análisis de la confiabilidad del Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, para identificar las causas de fallas y oportunidades de mejora.
- Implementación de un sistema de mantenimiento predictivo: Implementar un sistema de mantenimiento predictivo para el Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, que permita la detección temprana de problemas y la optimización del rendimiento del equipo.
- Desarrollo de un plan de capacitación para el personal de mantenimiento: Desarrollar un plan de capacitación para el personal de mantenimiento del Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, que incluya la formación en prácticas de mantenimiento seguras y eficientes.
- Evaluación de la eficiencia energética del equipo: Realizar una evaluación de la eficiencia energética del Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR, para identificar oportunidades de mejora y reducir el consumo de energía.

1.8 Resultados concretos que se ha alcanzado

El proyecto de mantenimiento exhaustivo en el molino de bolas de la magnitud del METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en Las Bambas va a generar una serie de resultados concretos y significativos, impactando positivamente la eficiencia y la rentabilidad de la operación minera. Estos resultados se pueden clasificar en varias áreas clave:

1.8.1 Aumento de la disponibilidad y confiabilidad del molino.

- Reducción del tiempo de inactividad: Mantenimiento preventivo y predictivo efectivo minimiza las paradas no planificadas. Optimización de los procedimientos de mantenimiento correctivo reduce el tiempo de reparación.
- Mayor vida útil de los componentes: Mantenimiento adecuado de revestimientos, rodamientos y engranajes prolonga su durabilidad. Monitoreo de condición permite detectar y corregir problemas antes de que causen fallas graves.
- Aumento de la producción: Mayor disponibilidad del molino se traduce en mayor tiempo de operación y, por ende, mayor producción.

1.8.2 Optimización de la eficiencia operativa.

- Reducción del consumo de energía: Mantenimiento adecuado del sistema de transmisión y lubricación mejora la eficiencia energética. Optimización de la carga y velocidad del molino reduce el consumo de energía.
- Mejora de la calidad de la molienda: Mantenimiento adecuado de los revestimientos asegura una molienda eficiente y consistente. Optimización

de los parámetros de operación permite obtener el tamaño de partícula deseado.

- Reducción de costos de mantenimiento: Mantenimiento preventivo y predictivo reduce la necesidad de reparaciones costosas. Optimización de los inventarios de repuestos minimiza los costos de almacenamiento.

1.8.3 Mejora de la seguridad y el medio ambiente.

- Reducción de riesgos de accidentes: Mantenimiento adecuado de los equipos reduce el riesgo de fallas que puedan causar accidentes. Implementación de procedimientos de seguridad rigurosos protege al personal.
- Minimización del impacto ambiental: Gestión adecuada de residuos y emisiones generados durante el mantenimiento. Uso de lubricantes y otros productos químicos amigables con el medio ambiente.
- Cumplimiento de las regulaciones: Al seguir los estándares de seguridad y medio ambiente, se evitarán posibles multas o sanciones.

1.8.4 Mejora continua y optimización.

- Generación de datos valiosos: El monitoreo de condición y el análisis de datos permiten identificar áreas de mejora. La información recopilada se puede utilizar para optimizar los planes de mantenimiento y los procedimientos de operación.
- Desarrollo de mejores prácticas: La experiencia ganada durante el proyecto puede conducir al desarrollo de mejores prácticas en el mantenimiento de molinos de bolas. Estas mejores prácticas se pueden aplicar en otras áreas de la operación minera.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Explicación del papel que jugaron la teoría y la práctica en el desempeño laboral

El desempeño laboral como bachiller en ingeniería mecánica eléctrica en un proyecto de la envergadura del "Mantenimiento de Molino de Bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en Unidad Minera Las Bambas - MMG" se sustenta en la sinergia entre la teoría y la práctica. A continuación, se detalla el papel que juegan ambas:

2.1.1 Papel de la teoría.

2.1.1.1 Fundamentos técnicos.

- Los conocimientos adquiridos durante la carrera, como termodinámica, mecánica de fluidos, diseño de elementos de máquinas, sistemas eléctricos y control, son cruciales para comprender el funcionamiento del molino SAG y sus componentes.
- La teoría proporciona la base para analizar problemas, interpretar planos, seleccionar materiales y diseñar soluciones de mantenimiento.

2.1.1.2 Análisis y diagnóstico.

- La teoría permite al bachiller realizar análisis de vibraciones, estudios de desgaste y evaluaciones de eficiencia energética, lo que facilita la identificación de fallas y la optimización del rendimiento del molino.
- El conocimiento de los principios de funcionamiento de los sistemas eléctricos y mecánicos es esencial para diagnosticar averías y proponer soluciones efectivas.

2.1.1.3 Planificación y diseño.

- La teoría es fundamental para la planificación de tareas de mantenimiento, la elaboración de procedimientos y la selección de herramientas y equipos adecuados.
- El bachiller aplica sus conocimientos teóricos para diseñar mejoras en el sistema de lubricación, el sistema de enfriamiento o el sistema de control del molino.

2.1.2 Papel de la práctica.

2.1.2.1 Experiencia en campo.

- La práctica permite al bachiller familiarizarse con los equipos y herramientas utilizados en el mantenimiento de molinos SAG, así como con los procedimientos de seguridad y las normas de calidad.
- La experiencia en campo desarrolla habilidades prácticas, como el montaje y desmontaje de componentes, la realización de mediciones y la interpretación de datos de campo.

2.1.2.2 Resolución de problemas.

- La práctica enseña al bachiller a aplicar sus conocimientos teóricos en situaciones reales, a identificar problemas y a proponer soluciones creativas y eficientes.
- La experiencia en campo permite desarrollar la capacidad de tomar decisiones rápidas y efectivas en situaciones de emergencia.

2.1.2.3 Trabajo en equipo.

- La práctica fomenta el trabajo en equipo y la comunicación efectiva con otros profesionales, como técnicos, supervisores y operadores.
- El bachiller aprende a colaborar con otros miembros del equipo para lograr los objetivos del proyecto de mantenimiento.

2.1.3 Teoría y práctica combinada.

- La teoría proporciona los fundamentos técnicos y el marco conceptual necesarios para comprender y analizar el funcionamiento del molino SAG.
- La práctica permite aplicar los conocimientos teóricos en situaciones reales, desarrollar habilidades prácticas y trabajar en equipo.
- La combinación de teoría y práctica es esencial para el desempeño laboral de un bachiller en ingeniería mecánica eléctrica en un proyecto de mantenimiento de molinos SAG, ya que le permite abordar los desafíos técnicos con eficiencia y seguridad.

2.1.4 Fundamento Teórico de molinos de bolas SAG de METSO.

El molino SAG (Semi-Autogenous Grinding) de METSO es un equipo de molienda de gran capacidad diseñado para el procesamiento de minerales en la industria minera. Se emplea principalmente en la primera etapa de reducción de

tamaño del mineral antes de su paso a los molinos de bolas convencionales o a procesos de flotación (Armas Segura, 2023).

2.1.4.1 Características generales.

- Tipo: Molino SAG (Semi-Autógeno).
- Fabricante: METSO.
- Aplicación: Procesamiento de minerales, reducción de tamaño previo a flotación o molienda secundaria.
- Principio de Funcionamiento: Usa una combinación de carga de bolas de acero y el propio mineral para la molienda.

2.1.4.2 Componentes principales.

a) Cilindro o cuerpo del molino.

- Fabricado en acero de alta resistencia con revestimientos internos reemplazables de acero al manganeso o caucho.
- Dimensiones variables, con diámetros que pueden alcanzar más de 40 pies y capacidades de hasta 40,000 kW.

b) Revestimientos.

- Diseñados para proteger la carcasa y optimizar la eficiencia de la molienda.
- Materiales: acero fundido, goma o aleaciones especiales.
- Configuración optimizada según la aplicación y tipo de mineral.

c) Trunnion (Trunnion Bearings).

- Soportes sobre los cuales gira el molino.
- Sistema de lubricación especializado para evitar desgaste y sobrecalentamiento.

d) Sistema de transmisión.

- Motor: Motores síncronos o asíncronos de alta potencia.
- Reductor y acoplamientos: Reduce la velocidad del motor y la adapta al molino.
- Corona y piñón: Elementos de transmisión mecánica que giran el molino.

e) Alimentación y descarga.

- Alimentador: Transporta el mineral desde una tolva hacia el interior del molino.
- Descarga: Puede ser periférica o por el extremo, dependiendo del diseño.

f) Sistema de lubricación.

- Lubricación a alta presión en cojinetes y engranajes para minimizar el desgaste.

2.1.4.3 Principio de operación.

El molino SAG opera con una combinación de carga de bolas de acero (aproximadamente 8-12% del volumen total) y el propio mineral. La rotación del cilindro genera un movimiento de cascada donde las bolas y el material se impactan y muelen entre sí, reduciendo el tamaño del mineral, las operaciones básicas son:

- Entrada del mineral: Se introduce desde la tolva de alimentación.
- Movimiento del tambor: Gira a baja velocidad gracias al sistema de transmisión.
- Impacto y fricción: El mineral se muele mediante colisiones con las bolas y la pared interna del molino.
- Salida del material: Una vez reducido a un tamaño adecuado, el mineral molido se descarga para su posterior procesamiento (Armas Segura, 2023).

2.1.4.4 Ventajas del molino SAG METSO.

- Alta capacidad de procesamiento.
- Menor consumo energético por tonelada procesada.
- Posibilidad de operar con mineral más grueso sin etapas previas de chancado.
- Revestimientos optimizados para mayor vida útil.
- Sistemas de monitoreo y control automatizados para mejorar la eficiencia.

En conclusión, el molino de bolas METSO tipo SAG es una pieza clave en la minería moderna, utilizada para la reducción eficiente del tamaño del mineral en plantas de procesamiento. Su diseño robusto, alta capacidad y tecnología avanzada lo convierten en una de las mejores opciones para operaciones de gran escala.

2.1.5 Componentes y funciones del molino de bolas METSO tipo SAG.

El molino SAG (Semi-Autogenous Grinding) de METSO está compuesto por varios elementos que trabajan en conjunto para lograr la reducción de tamaño del mineral de manera eficiente. A continuación, se detallan sus componentes principales y sus respectivas funciones:

2.1.5.1 Cuerpo o cilindro del molino.

- Es la estructura principal del molino donde se lleva a cabo la molienda.
- Aloja la carga de mineral y las bolas de acero que facilitan la fragmentación del material.
- Construido en acero de alta resistencia.
- Revestido internamente con materiales resistentes al desgaste (acero al manganeso, goma o aleaciones especiales).

- Su tamaño puede superar los 40 pies de diámetro en modelos de alta capacidad.

2.1.5.2 Trunnion (cojinetes de soporte).

- Permite la rotación del molino sosteniéndolo en sus extremos.
- Facilita la entrada y salida del material molido.
- Reduce la fricción mediante un sistema de lubricación especializado.
- Fabricados en acero fundido.
- Lubricados con sistemas de alta presión para minimizar el desgaste y prolongar la vida útil (Armas Segura, 2023).

2.1.5.3 Sistema de transmisión.

Compuesto por varios elementos que permiten el giro del molino:

a) Motor principal.

- Proporciona la potencia necesaria para la rotación del cilindro.
- Puede ser un motor síncrono o asíncrono de alta potencia (hasta 40,000 kW).
- Opera con un sistema de enfriamiento para evitar sobrecalentamiento.

b) Reductor y acoplamiento.

Reduce la velocidad del motor y la adapta a la velocidad de giro óptima del molino.

c) Corona y piñón.

- Es el sistema mecánico que transmite el movimiento desde el motor al cilindro del molino.
- La corona es una rueda dentada de gran tamaño que rodea el molino.

- El piñón es una rueda dentada más pequeña que engrana con la corona y la hace girar.

2.1.5.4 Revestimientos internos.

- Protegen el cilindro del desgaste causado por la fricción del mineral y las bolas de acero.
- Ayudan a mejorar la eficiencia del proceso de molienda al optimizar el movimiento de la carga interna.
- Fabricados en acero al manganeso.
- Revestidos con goma o polímeros de alta resistencia.
- También se fabrican de aleaciones especiales según el tipo de mineral procesado.

2.1.5.5 Sistema de alimentación.

- Transporta el mineral desde la tolva de almacenamiento hacia el interior del molino.
- Entre los componentes se tienen: alimentador de banda o tornillo, que controla la cantidad de mineral que entra al molino, el chute de alimentación, que conduce el material hasta el interior del molino de forma uniforme.

2.1.5.6 Sistema de descarga.

- Extrae el material molido y lo transporta a la siguiente etapa del proceso (molino secundario o flotación).
- Los tipos de descarga son: descarga por rebose, cuando el material molido sale por el extremo del molino cuando alcanza un cierto nivel, y descarga

periférica, que utiliza ranuras en la periferia del molino para extraer el material.

2.1.5.7 Sistema de lubricación.

- Reduce la fricción en los cojinetes y el sistema de transmisión.
- Prolonga la vida útil de los componentes mecánicos.
- En la lubricación de cojinetes se utiliza aceites a alta presión para reducir el desgaste.
- Lubricación de engranajes se le proporciona una capa de grasa o aceite en la corona y el piñón (Armas Segura, 2023).

2.1.5.8 Sistema de monitoreo y control.

- Supervisa el estado del molino en tiempo real para optimizar la operación y prevenir fallas.
- Controla parámetros como velocidad de rotación, temperatura y nivel de carga interna.
- Entre las tecnologías utilizadas tenemos: sensores de vibración y temperatura, y sistemas de control automatizados (PLC, SCADA).

En conclusión, el molino SAG METSO es un equipo de alta tecnología que integra múltiples sistemas y componentes para realizar la molienda eficiente del mineral. Desde su robusto cilindro y sistema de transmisión hasta su avanzado sistema de monitoreo, cada parte desempeña un papel clave en el proceso de reducción de tamaño.

2.2 Descripción de las acciones, metodología y procedimiento

La descripción de las acciones, metodología y procedimiento en la ejecución del proyecto de Mantenimiento de Molino de Bolas METSO tipo SAG en Unidad Minera Las Bambas – MMG, es la siguiente:

2.2.1 Acciones principales.

El mantenimiento del Molino de Bolas METSO tipo SAG en la Unidad Minera Las Bambas requiere una serie de acciones planificadas para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Entre las principales acciones se incluyen:

- Inspección previa: Evaluación del estado actual del molino para detectar desgastes, fisuras y fallas en los componentes.
- Desmontaje de componentes críticos: Incluye la extracción de revestimientos, corona dentada, piñón, chumaceras, sistema de lubricación y transmisión.
- Limpieza y evaluación de piezas: Identificación de daños en los componentes principales, análisis de fisuras mediante ensayos no destructivos (END).
- Reparación o reemplazo de piezas desgastadas: Sustitución de revestimientos internos, reparación de fisuras en carcasa y soldaduras en zonas críticas.
- Revisión del sistema de lubricación y transmisión: Inspección de aceites, filtros y bombas hidráulicas para garantizar la adecuada lubricación del molino.

- Reensamblaje y alineación de componentes: Montaje del molino con alineación de la corona dentada y piñón, asegurando tolerancias adecuadas.
- Pruebas funcionales y puesta en marcha: Verificación de vibraciones, temperatura y funcionamiento general antes de la operación completa.

2.2.2 Metodología.

Para la ejecución del mantenimiento se emplea una metodología basada en estándares internacionales de mantenimiento industrial y seguridad minera. La metodología comprende:

- Planificación y programación: Se establecen los tiempos de intervención, personal y recursos necesarios, minimizando el impacto en la producción.
- Uso de herramientas especializadas: Se emplean equipos de medición láser, ultrasonido y análisis de vibraciones para detectar fallas estructurales.
- Aplicación de estándares y normativas: Cumplimiento de normativas como ASTM, ISO 9001 y reglamentos de seguridad minera de Perú.
- Trabajo en equipo multidisciplinario: Participación de ingenieros mecánicos, eléctricos y operarios especializados para una ejecución eficiente.
- Monitoreo de condiciones: Evaluación en tiempo real de variables clave (temperatura, presión, vibraciones) para garantizar una óptima operación post-mantenimiento.

2.2.3 Procedimiento de ejecución.

El procedimiento de mantenimiento del molino SAG sigue una secuencia ordenada para asegurar una intervención eficiente y segura:

2.2.3.1 Planificación y preparación.

- Revisión del plan de mantenimiento y asignación de tareas.
- Identificación de repuestos y herramientas necesarias.
- Implementación de medidas de seguridad y permisos de trabajo.

2.2.3.2 Inspección y diagnóstico.

- Desmontaje de revestimientos y componentes clave.
- Evaluación de desgaste en elementos críticos (corona, piñón, cojinetes).
- Uso de END (ultrasonido, partículas magnéticas) para detectar fisuras.

2.2.3.3 Reparación y reemplazo.

- Reparación de componentes dañados o su reemplazo según corresponda.
- Revisión y ajuste del sistema de lubricación.
- Soldaduras en fisuras detectadas y tratamiento térmico si es necesario.

2.2.3.4 Montaje y alineación.

- Reensamblaje del molino siguiendo especificaciones técnicas.
- Alineación de engranajes con medición láser para evitar desbalances.
- Ajuste de pernos y componentes según torques especificados.

2.2.3.5 Pruebas y puesta en marcha.

- Inspección final y pruebas de funcionamiento en vacío.
- Medición de vibraciones, temperatura y alineación final.
- Prueba en carga progresiva hasta alcanzar la capacidad nominal.
- Monitoreo de rendimiento post-mantenimiento.

Este enfoque permite una ejecución eficiente del mantenimiento, minimizando el tiempo de inactividad y asegurando la fiabilidad del equipo en la operación minera.

CAPÍTULO III

APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

3.1 Aportes utilizando los conocimientos o bases teóricas adquiridas durante la carrera

Los aportes efectuados como bachiller en Ingeniería Mecánica-Eléctrica fueron muy significativos en el mantenimiento del Molino de Bolas METSO tipo SAG en la Unidad Minera Las Bambas – MMG, aplicando los conocimientos adquiridos en mi formación. A continuación, se detallan algunos aportes clave en distintas áreas del proyecto:

3.1.1 Mecánica y mantenimiento industrial.

- Aplicar conceptos de mantenimiento predictivo y preventivo para minimizar paradas no programadas del molino.
- Apoyar en el análisis de fallas y diagnóstico de componentes mecánicos críticos, como el trunnion, liners, corona-piñón, chumaceras y sistema de lubricación.
- Asistir en la inspección de desgaste de los revestimientos del molino y proponer mejoras en materiales o diseños para aumentar la vida útil.
- Participar en la ejecución de alineación y balanceo de componentes rotativos para optimizar la eficiencia del molino.

3.1.2 Electricidad y automatización.

- Colaborar en la verificación y mantenimiento del motor eléctrico que impulsa el molino, incluyendo su sistema de excitación y protección.
- Apoyar en la revisión de sensores y sistemas de monitoreo de vibraciones, temperatura y torque para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.
- Participar en el mantenimiento y calibración de los variadores de velocidad (VSD) y sistemas de control asociados al molino SAG.

3.1.3 Seguridad y gestión de proyectos.

- Aplicar normativas y estándares de seguridad industrial en trabajos de mantenimiento.
- Elaborar informes técnicos y reportes de inspección sobre el estado del molino y sus componentes.
- Contribuir en la optimización de procesos de mantenimiento, proponiendo mejoras basadas en metodologías de gestión de activos como RCM (Bloom, 2006).

En general, el bachiller puede desempeñar un papel clave en la planificación, ejecución y optimización del mantenimiento del molino, aportando con análisis técnicos y aplicando metodologías de mantenimiento basadas en sus conocimientos teóricos y prácticos.

Figura 2

Molino de bolas de las Bambas



Nota: Adaptado de ProActivo (2022). Fuente: <https://proactivo.com.pe/las-bambas-el-tercer-molino-de-bolas-un-desafio-logrado/>

3.1.4 Especificaciones técnicas molino de bolas METSO tipo SAG de 3,532

t/h.

Tabla 1

Especificación técnicas de un molino de bolas METSO tipo SAG

Datos técnicos	
Fabricante	METSO
Tipo	SAG
Diámetro x longitud (mm/ pies)	12,192 x 7,315/ 40 x 22
Tipo de molienda	Húmeda
Capacidad máxima (t/h)	3,532
Velocidad de rotación (rpm)	9.24
Tamaño del producto de alimentación F80 (mm)	150
Tamaño del producto de descarga P80 (mm)	2-3
Medio de trituración	Bolas
Carga de bolas (%)	10-18
Sistema de accionamiento	
Fabricante	SIEMENS
Tipo	Gearless GMD
Potencia (kW/ HP)	23,500/ 31,514
N° de polos	12
Torque nominal (kN.m)	24,287
Chute de alimentación	
Material	Acero al carbono
Fabricante	HARDOX
Material	Acero cromado

Cantidad	42
Cojinete fijo o de alimentación	
Diámetro (mm)	3,810
N° de pads hidrostáticos	4
N° de pads de empuje	2
Revestimientos de la tapa de descarga	
Material	Acero revestido de caucho
N° de liners internos	16
N° de liners intermedios	16
N° de rejillas de descarga	32
N° de lifters internos	16
N° de lifters intermedios	16
N° de lifters externos	32
Revestimientos del Shell	
Material	Acero revestido de caucho
N° de liners del Shell de alimentación	60
N° de liners del Shell de descarga	60
Cojinete móvil o de descarga	
Diámetro (mm)	3,810
N° de pads hidrostáticos	4
Lubricación	Aceite
Trommel	
Diámetro x Longitud (mm)	3,975 x 3,537
Paneles	
Material	Poliuretano
Cantidad	180
Sistema de lubricación de los cojinetes del trunion	
Depósito de aceite	
Volumen (L)	7,571
N° de compartimientos	4
Conjunto de los pads hidrostáticos	
Motores eléctricos	3 (2 operando, 1 standby)
Potencia (kW/ HP)	93.2/ 125
Sistema de frenado	
Fabricante	JOHNSON
Modelo	1TL800
Volumen (L) de aceite	170
Fabricante motor eléctrico	WEG
Potencia (kW/ HP)	5.6/ 7.5
Velocidad (rpm)	1,740
Fabricante bomba hidráulica	VOITH
Velocidad (rpm)	1,150
Tipo	Engranajes
Cantidad	3 (2 operando, 1 standby)
Capacidad (L/min)	257.4
Presión (kPa)	17,250

Nota: Adaptado de las especificaciones técnica de molino de bolas METSo (s.f.)

3.2 Desarrollo de experiencias

El mantenimiento de un molino de bolas METSO tipo SAG con una capacidad de 3,532 toneladas por hora, como el utilizado en la Unidad Minera Las Bambas de MMG, es fundamental para garantizar su eficiencia operativa y prolongar su vida útil. A continuación, se describe detalladamente el procedimiento general de mantenimiento para este tipo de molinos:

3.2.1 Procedimiento del mantenimiento del molino.

3.2.1.1 Planificación del mantenimiento.

Antes de iniciar cualquier tarea de mantenimiento, es esencial planificar detalladamente las actividades a realizar. Esto incluye la programación de paradas, asignación de personal calificado, adquisición de repuestos necesarios y coordinación con otras áreas involucradas.

3.2.1.2 Seguridad y preparación del área.

- Desenergización y Bloqueo: Asegurar que el molino esté completamente desenergizado. Colocar dispositivos de bloqueo y etiquetado en la fuente de alimentación para prevenir energizaciones accidentales.
- Señalización y Delimitación: Delimitar y señalizar el área de trabajo para evitar el ingreso de personal no autorizado.
- Equipos de Protección Personal (EPP): El personal debe utilizar el EPP adecuado, como cascos, guantes, gafas de seguridad y arneses, según las tareas a realizar.

3.2.1.3 Inspección previa.

- Verificación de Condiciones: Inspeccionar visualmente el estado general del molino, identificando posibles desgastes, fisuras o anomalías en componentes críticos.
- Medición de Espesores: Realizar mediciones de espesores en el casco del molino y en los revestimientos para determinar su grado de desgaste.

3.2.1.4 Desmontaje de componentes.

- Retiro de Revestimientos (Liners): Utilizar herramientas especializadas para aflojar y retirar los pernos que sujetan los revestimientos. Extraer los liners desgastados para su reemplazo.
- Extracción de Tapa de Registro (Man-Hole): Posicionar la tapa en la parte superior del molino. Aflojar los pernos y, con ayuda de equipos de izaje, retirar la tapa para permitir el acceso al interior del molino.

3.2.1.5 Inspección interna.

- Evaluación del Casco y Revestimientos: Ingresar al molino, previa ventilación adecuada y medición de gases, para inspeccionar el estado del casco y los revestimientos internos. Identificar signos de desgaste, corrosión o daños estructurales.
- Revisión de Sistemas de Transmisión: Inspeccionar engranajes, piñones y sistemas de lubricación para asegurar su correcto funcionamiento y detectar posibles desgastes o desalineaciones.

3.2.1.6. Mantenimiento y reemplazo.

- Cambio de Revestimientos: Instalar nuevos revestimientos siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante. Asegurar el correcto ajuste y torque de los pernos de sujeción.
- Lubricación: Verificar y, de ser necesario, reemplazar el lubricante de cojinetes y sistemas de transmisión. Asegurarse de que no haya obstrucciones en las líneas de lubricación.

3.2.1.7 Montaje y cierre.

- Reinstalación de Componentes: Colocar nuevamente la tapa de registro y asegurarla correctamente. Reinstalar las guardas de seguridad y otros componentes desmontados.
- Retiro de Bloqueos y Energización: Una vez finalizadas las tareas, retirar los dispositivos de bloqueo y proceder a energizar el molino siguiendo los protocolos establecidos.

3.2.1.8 Pruebas y puesta en marcha.

- Pruebas Operativas: Realizar pruebas en vacío y bajo carga para verificar el correcto funcionamiento del molino. Atender a posibles ruidos, vibraciones o anomalías que puedan surgir.
- Ajustes Finales: Si se detectan desviaciones durante las pruebas, realizar los ajustes necesarios antes de poner el molino en operación continua.

3.2.1.9 Documentación y registro.

- Informe de Mantenimiento: Elaborar un informe detallado de las actividades realizadas, hallazgos, repuestos utilizados y recomendaciones para futuros mantenimientos.

- Actualización de Historial: Actualizar el historial de mantenimiento del equipo, registrando fechas, intervenciones y observaciones relevantes.
- Es importante destacar que, aunque este procedimiento ofrece una guía general, cada molino puede presentar particularidades específicas. Por ello, es esencial seguir las recomendaciones del fabricante y adaptar el plan de mantenimiento a las condiciones operativas y ambientales de la planta.

3.2.2 Cambio de revestimientos.

El cambio de revestimientos en un molino SAG METSO es una tarea crítica que requiere planificación, herramientas especializadas y estrictos protocolos de seguridad. A continuación, se describe el procedimiento detallado:

3.2.2.1 Planificación del cambio de revestimientos.

Antes de iniciar el cambio, se deben considerar:

- Programación de la parada: Definir el tiempo estimado de inactividad del molino.
- Disponibilidad de repuestos: Contar con los revestimientos nuevos y los elementos de fijación.
- Asignación de personal: Técnicos y operadores capacitados en el procedimiento.
- Equipos de izaje y herramientas: Grúas, brazos mecánicos, martillos hidráulicos, torquímetros, etc.

3.2.2.2 Seguridad y preparación del área.

- Detención del molino y enfriamiento: Asegurar que el equipo esté apagado y haya alcanzado una temperatura segura.

- Desenergización y bloqueo: Colocar tarjetas y candados en el sistema eléctrico y mecánico (LOTO).
- Ventilación y medición de gases: Garantizar condiciones seguras dentro del molino.
- Delimitación y señalización del área: Para evitar el ingreso de personal no autorizado.
- Uso de Equipos de Protección Personal (EPP): Casco, guantes, gafas, arnés, ropa de trabajo resistente, etc.

3.2.2.3 Retiro de revestimientos usados.

a) Acceso al molino.

- Apertura de la tapa de inspección (Manhole).
- Instalación de puntos de anclaje para el ingreso seguro del personal.
- Inspección visual del estado de los revestimientos y pernos de sujeción.

b) Remoción de los revestimientos desgastados.

- Aflojamiento de pernos de sujeción: Usar torquímetros y martillos neumáticos o hidráulicos. Aplicar calor si los pernos están atascados por la corrosión.
- Extracción de los revestimientos: Utilizar un manipulador de revestimientos (liner handler) o una grúa puente. Remover con cuidado para evitar daños al casco del molino. Transportar los revestimientos desgastados a un área de disposición segura.

3.2.2.4 Instalación de los nuevos revestimientos.

- Limpieza del casco del molino: Remoción de polvo, residuos y revisión del estado del material base.

- Verificación de alineaciones: Asegurar que el soporte de los nuevos revestimientos esté en buenas condiciones.
- Colocación de nuevos revestimientos: Usar el manipulador de revestimientos o una grúa para posicionar las piezas. Asegurar que coincidan con la orientación correcta según el diseño del fabricante.
- Colocación y ajuste de pernos: Aplicar torque de apriete recomendado por el fabricante. Realizar una segunda verificación para detectar posibles aflojamientos.

3.2.2.5 Cierre y pruebas.

- Cierre de la tapa de inspección (Manhole).
- Retiro de herramientas y equipos del interior del molino.
- Verificación final del ajuste de pernos.
- Retiro de bloqueos y energización del molino.
- Pruebas en vacío: Se hace girar el molino sin carga para detectar anomalías.
- Pruebas en carga: Se reinicia la operación monitoreando ruidos, vibraciones y temperatura.

3.2.2.6 Registro y documentación.

- Elaboración de informe técnico: Detalles del procedimiento, tiempos, piezas cambiadas y observaciones.
- Registro fotográfico del estado del molino antes y después.
- Recomendaciones para el próximo mantenimiento.
- Este procedimiento garantiza una correcta instalación, prolonga la vida útil de los revestimientos y mejora la eficiencia del molino.

Figura 3

Mantenimiento de molino de bolas



Nota: Adaptado de MINDER (2024). Fuente: <https://portal.minder.pe/2024/11/14/metso-peru-logra-nuevo-hito-al-realizar-mantenimiento-de-molino-sag-en-tiempo-record-en-anglo-americano-quellaveco/>

3.2.3 Presentación de los resultados.

El mantenimiento de un Molino de bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en la Unidad Minera Las Bambas - MMG tiene un impacto significativo en la operación minera. A continuación, se detallan los resultados que se pueden lograr tras efectuar un mantenimiento adecuado:

3.2.3.1 Aumento de la disponibilidad y confiabilidad del molino.

- Se reducen los tiempos de inactividad por fallas imprevistas.
- Se garantiza que el molino opere de manera continua y eficiente.
- Se minimizan los tiempos de parada correctiva.

3.2.3.2 Optimización del desempeño y eficiencia operativa.

- Se mejora la capacidad de procesamiento de mineral, asegurando el cumplimiento del objetivo de 3,532 TN/HR.
- Se reduce la variabilidad en la granulometría del producto final.

- Se optimiza el consumo de energía al garantizar el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos.

3.2.3.3 Reducción del desgaste de componentes claves.

- Se disminuye el desgaste prematuro en el casco del molino, trunnions, revestimientos, y sistema de transmisión (coronas y piñones).
- Se extiende la vida útil de los revestimientos de acero o caucho, optimizando su reemplazo en base a un plan estratégico.
- Se mejora el ajuste y alineamiento de los cojinetes y lubricación adecuada, evitando fallas por fricción o sobrecalentamiento.

3.2.3.4 Seguridad operacional y prevención de accidentes.

- Se garantiza que el molino funcione dentro de los parámetros de seguridad establecidos por el fabricante y las normativas mineras.
- Se previenen accidentes por fallos estructurales o mecánicos inesperados.
- Se mejora la ergonomía y condiciones de trabajo del personal de mantenimiento, reduciendo riesgos laborales.

Figura 4

Molino de bolas operativo



Nota: Adaptado de 911Metallurgist (2024). Fuente: <https://metalurgia.911metallurgist.com/molino-a-bolas/>

3.2.3.5 Reducción de costos de mantenimiento correctivo.

- Se minimizan los costos asociados a reparaciones de emergencia y repuestos no planificados.
- Se optimizan los costos operativos mediante mantenimientos programados y predictivos
- Se mejora la planificación de repuestos críticos, evitando paradas prolongadas por falta de insumos.

3.2.3.6 Cumplimiento de la producción y metas de procesamiento.

- Se asegura la continuidad del proceso de molienda, clave en la producción de concentrado de cobre en Las Bambas.
- Se evita la disminución en la recuperación de mineral debido a interrupciones imprevistas.
- Se mejora la eficiencia global de la planta concentradora al mantener un flujo de material constante.

En conclusión, el mantenimiento adecuado del Molino SAG METSO de 3,532 TN/HR en Las Bambas - MMG es crucial para garantizar la eficiencia, seguridad y rentabilidad de la operación minera. Al ejecutar correctamente este proceso, se obtienen beneficios significativos en disponibilidad, confiabilidad, desempeño operativo y reducción de costos, lo que contribuye directamente al éxito de la producción minera.

Figura 5

Unidad minera Las Bambas



Nota: Adaptado de ProActivo (2024). Fuente: <https://proactivo.com.pe/minera-las-bambas-celebra-8-anos-de-operaciones-en-apurimac/>

3.2.4 Personal.

El mantenimiento de un molino de bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en la Unidad Minera Las Bambas - MMG requiere un equipo multidisciplinario de profesionales altamente capacitados para garantizar la seguridad, eficiencia y productividad de la operación.

- Ingeniero de Mantenimiento de Molinos: Supervisa y coordina todas las actividades de mantenimiento del molino, incluyendo la planificación, ejecución y control.
- Técnicos de Mantenimiento: Realizan tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, incluyendo la reparación de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- Soldadores: Realizan reparaciones y modificaciones en componentes metálicos del molino.

- Mecánicos: Se encargan del mantenimiento y reparación de los componentes mecánicos del molino, como los rodamientos, engranajes y ejes.
- Electricistas: Realizan el mantenimiento y reparación de los sistemas eléctricos del molino, incluyendo motores, controles y sistemas de iluminación.
- Instrumentistas: Se encargan del mantenimiento y calibración de los instrumentos de medición y control del molino.
- Lubricadores: Aplican lubricantes a los componentes mecánicos del molino para reducir la fricción y el desgaste.
- Operadores de Grúa: Operan grúas para mover y posicionar componentes pesados del molino.
- Personal de Seguridad: Garantizan la seguridad de los trabajadores y las operaciones del molino.
- Ingeniero de Procesos: Supervisa el funcionamiento del molino y optimiza los procesos de molienda.
- Ingeniero de Control: Supervisa y mantiene los sistemas de control del molino.
- Ingeniero de Materiales: Se encarga de la selección y gestión de los materiales utilizados en el mantenimiento del molino.
- Personal de Almacén: Gestiona el inventario de piezas de repuesto y materiales necesarios para el mantenimiento del molino.

Todos los miembros del equipo de mantenimiento deben tener una sólida formación en mecánica, electricidad, instrumentación y seguridad industrial.

Además, es importante que tengan experiencia en el mantenimiento de molinos SAG y en la industria minera.

Como conclusión debemos indicar que el mantenimiento del molino de bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en Las Bambas - MMG requiere un equipo de profesionales altamente capacitados y experimentados. La composición del equipo debe ser multidisciplinaria para garantizar la seguridad, eficiencia y productividad de la operación

3.2.5 Equipos de protección personal.

El mantenimiento de un molino de bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en una unidad minera como Las Bambas implica riesgos significativos, por lo que el uso de equipos de protección personal (EPP) es esencial. A continuación, se detalla el EPP necesario:

- Casco de seguridad: Obligatorio para proteger contra caídas de objetos, golpes y otros peligros.
- Barboquejo: Para mantener el casco en su lugar, especialmente en áreas con viento o al trabajar en alturas.
- Gafas de seguridad: Para proteger los ojos de partículas voladoras, polvo y otros contaminantes.
- Careta facial: Para proteger la cara de salpicaduras, calor radiante y otros peligros.
- Tapones para los oídos u orejeras: Debido a los altos niveles de ruido generados por el molino y las herramientas utilizadas.
- Respirador con filtro: Dependiendo de los niveles de polvo y otros contaminantes presentes en el área de trabajo.

- Guantes de seguridad: Adecuados para el tipo de trabajo a realizar, como guantes de cuero para manipulación de materiales pesados o guantes resistentes a cortes para trabajos con herramientas afiladas.
- Botas de seguridad con puntera de acero: Para proteger los pies de impactos, caídas de objetos pesados y riesgos de aplastamiento.
- Ropa de trabajo resistente: Preferiblemente de alta visibilidad, para garantizar la visibilidad del trabajador en todo momento.
- Arnés de seguridad: Para trabajos en altura, con puntos de anclaje adecuados.
- Equipo de detección de gases: En caso de trabajos en espacios confinados o áreas con riesgo de gases tóxicos.
- Equipo de protección contra caídas: Cuando se trabaja en alturas, incluyendo líneas de vida y otros dispositivos de seguridad.
- Es crucial que todo el EPP esté en buen estado y se ajuste correctamente al trabajador.
- Se debe proporcionar capacitación adecuada sobre el uso correcto y el mantenimiento del EPP.
- Es importante mencionar que la empresa Metso, y la empresa Minera las bombas tienen estándares muy altos con respecto a la seguridad de sus empleados, por lo cual dichos entes, suministran y exigen el uso de todos los EPP necesarios para la realización de estos trabajos de alto riesgo.
- La selección y el uso del EPP deben basarse en una evaluación de riesgos específica para cada tarea de mantenimiento.

3.2.6 Equipos, herramientas y materiales utilizados.

El mantenimiento de un molino de bolas METSO tipo SAG de 3,532 TN/HR en una unidad minera como Las Bambas requiere una amplia gama de equipos, herramientas y materiales especializados. A continuación, se detalla una lista general:

3.2.6.1 Equipos.

- Grúas de gran capacidad: Para levantar y mover componentes pesados del molino, como revestimientos y componentes del rotor.
- Equipos de soldadura: Para reparar y reconstruir componentes desgastados o dañados.
- Equipos de corte: Para cortar y dar forma a materiales durante el proceso de reparación.
- Equipos de medición y alineación: Para garantizar la precisión en el montaje y alineación de los componentes del molino.
- Equipos de limpieza a alta presión: Para limpiar el interior del molino y eliminar residuos de mineral.
- Equipos de inspección no destructiva (END): Para detectar grietas y otros defectos en los componentes del molino sin dañarlos.
- Vehículos de transporte pesado: Para trasladar materiales y equipos al área de trabajo.
- Plataformas elevadoras y andamios: Para proporcionar acceso seguro a las áreas de trabajo elevadas.
- Sistemas de ventilación: Para garantizar una adecuada circulación de aire en el interior del molino.

3.2.6.2 Herramientas.

- Llaves de torque de gran tamaño: Para apretar y aflojar pernos y tuercas de alta resistencia.
- Herramientas de impacto: Para aflojar pernos y tuercas corroídas o atascadas.
- Herramientas de corte y desbaste: Para dar forma y preparar superficies para la soldadura o reparación.
- Herramientas de medición de precisión: Como micrómetros, calibradores y niveles, para garantizar la precisión en las mediciones.
- Herramientas de alineación láser: Para alinear con precisión los componentes del molino.
- Herramientas de izaje: Como eslingas, cadenas y ganchos, para levantar y mover componentes pesados de forma segura.
- Herramientas manuales: Como martillos, destornilladores y alicates, para tareas generales de mantenimiento.

3.2.6.3 Materiales.

- Revestimientos de molino: De diferentes tipos y materiales, dependiendo de la aplicación y el tipo de mineral.
- Pernos y tuercas de alta resistencia: Para asegurar los revestimientos y otros componentes del molino.
- Electrodo de soldadura: Para reparar y reconstruir componentes de acero.
- Materiales de relleno y sellado: Para reparar grietas y fugas en los componentes del molino.

- Lubricantes y grasas: Para mantener los componentes del molino correctamente lubricados.
- Materiales de limpieza: Como solventes y desengrasantes, para limpiar el interior del molino.
- Materiales de seguridad: Como cintas de advertencia y señales, para delimitar el área de trabajo y garantizar la seguridad.

3.2.6.4 Consideraciones adicionales.

- Es fundamental que todos los equipos, herramientas y materiales sean de alta calidad y estén en buen estado de funcionamiento.
- Se debe realizar una inspección exhaustiva de todos los equipos y herramientas antes de su uso.
- Se debe proporcionar capacitación adecuada a los trabajadores sobre el uso correcto y seguro de todos los equipos, herramientas y materiales.
- La empresa Metso, como fabricante, en sus servicios de mantenimiento, tiene protocolos muy estrictos en la utilización de todos los materiales, herramientas y equipos.

CONCLUSIONES

- Primera.** La ejecución del mantenimiento permitió detectar y corregir desgastes en componentes críticos como revestimientos, trunnions, chumaceras y sistemas de lubricación.
- Segunda.** Se identificaron y reemplazaron piezas desgastadas, lo que mejoró la eficiencia en la molienda y el consumo de energía.
- Tercera.** Se ajustaron parámetros operativos para maximizar la producción sin comprometer la integridad del equipo.
- Cuarta.** Al ejecutar un mantenimiento preventivo o predictivo, se evitaron paradas no programadas que suelen ser más costosas en términos de producción y repuestos de emergencia.
- Quinta.** Se garantizó el cumplimiento de estándares de seguridad al inspeccionar y reforzar elementos críticos.
- Sexta.** Se obtuvieron datos sobre el desgaste de liners, engranajes, cojinetes y sistemas de transmisión, permitiendo planificar mantenimientos futuros con mayor precisión.
- Séptima.** Se evaluó si el plan de mantenimiento actual es adecuado o si es necesario optimizar la frecuencia y tipo de inspecciones.
- Octava.** En general, el mantenimiento del molino SAG en Las Bambas permitió aumentar la confiabilidad operativa, reducir costos y mejorar la seguridad del equipo y del personal.

RECOMENDACIONES

- Primera.** Incorporar técnicas como análisis de vibraciones, termografía, ultrasonido y monitoreo de lubricación para anticipar fallas en componentes críticos.
- Segunda.** Mantener un stock mínimo de repuestos críticos (liners, trunnions, engranajes, cojinetes, etc.) para evitar retrasos en futuras intervenciones.
- Tercera.** Evaluar la posibilidad de usar materiales de mayor resistencia al desgaste en revestimientos y componentes estructurales.
- Cuarta.** Revisar la velocidad del molino, la carga de bolas y el nivel de llenado para optimizar el consumo energético y mejorar la molienda.
- Quinta.** Realizar entrenamientos periódicos en buenas prácticas de mantenimiento, diagnóstico de fallas y seguridad en trabajos de alto riesgo.
- Sexta.** Inspeccionar el sistema de enfriamiento del molino y asegurar que las temperaturas se mantengan dentro de los rangos recomendados.
- Séptima.** Analizar si la actual programación de mantenimientos es la más eficiente o si se pueden extender los intervalos sin afectar la confiabilidad.
- Octava.** Aplicar metodologías como RCM (Reliability-Centered Maintenance) para definir estrategias óptimas de mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armas Segura, W. E. (2023). *Evaluación de la puesta en marcha del molino SAG 36'X17' y sistema auxiliares de la Minera Chinalco Perú - 2023 (Tesis de pregrado)*. Universidad Continental, Huancayo, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13143>
- BETCHTEL CHILE LTDA. (s.f.). *Filosofía de Operación Concentrador Colectivo Proyecto Las Bambas XSTRATA TINTAYA S.A.*
- Bloom, N. B. (2006). *Reability Centered Maintenance: Implementation made simple*. The McGraw-Hill .
- Carrasco, U. (25 de Junio de 2018). *Resumen Ejecutivo de la tercera MEIA Las Bambas*. Recuperado de Scribd: <https://es.scribd.com/document/382533182/Resumen-Ejecutivo-de-La-Tercera-MEIA-Las-Bambas>
- Cuatrecasas, L. (2003). *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. Barcelona: Gestión 2000.
- Cuva, J. L. (2018). *Conminución de minerales*. Recuperado de Academia edu: https://www.academia.edu/36722321/Conminuci%C3%B3n_de_minerales
- Metso: Outotec. (s.f.). *Basic in Minerals Processing* (12 ed.).
- MMG. (2016). *Informe de Sostenibilidad Las Bambas [Versión en pdf]*.
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control*. Alfaomega.
- Parra, C. (s.f.). *Análisis Integral de Indicadores Claves en la Gestión del Mantenimiento: Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Costes por Indisponibilidad*. doi:10.13140/RG.2.2.31051.11040/2

Vargas, L. C. (2020). *Unidad Minera Bambas*. Recuperado de Academia edu:
https://www.academia.edu/44512036/UNIDAD_MINERA_BAMBAS