TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. GUIDO CAHUANA YUCRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

JULIACA - PERÚ

2026

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. GUIDO CAHUANA YUCRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : _____
Dr. BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO

PRIMER MIEMBRO : _____
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS

SEGUNDO MIEMBRO : _____
Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ASESOR DE TESIS : _____
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0348-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de junio del 2026

VISTO: El expediente **N° 2026-CU-004959** presentado por el (la) Bachiller: **GUIDO CAHUANA YUCRA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **GUIDO CAHUANA YUCRA,** quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

* **Presidente** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
* **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
* **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ARTICULO SEGUNDO. – **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON.**

ARTICULO TERCERO. – **APROBAR,** la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **GUIDO CAHUANA YUCRA;** del informe final de la investigación (tesis) titulada: **MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.** de acuerdo al siguiente detalle:

* **FECHA** : Viernes 26 de junio del 2026
* **HORA** : 08:00 hr
* **LUGAR** : Aula 204 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975

Dr. Frida Milly Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0001-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de enero del 2026

VISTO: El expediente **N° 2025-C-5986** por el señor (a): **GUIDO CAHUANA YUCRA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – **N° 1212-2025**-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato **N° 056 - 2025** del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **GUIDO CAHUANA YUCRA,** ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 056 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN,** presentado por el señor (a): **GUIDO CAHUANA YUCRA,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulada: **MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA,** en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la), **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON.**

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2026
interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 531-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 24 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 3598, presentado por el señor (a) GUIDO CAHUANA YUCRA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO – N° 342-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 019-2025 del integrante del comité de investigación EPIME de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): GUIDO CAHUANA YUCRA ha presentado su propuesta de investigación Titulada: MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 019-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): GUIDO CAHUANA YUCRA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulada: MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025 correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON.

ARTÍCULO TERCERO.- **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y Cs. PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

GUIDO CAHUANA YUCRA

MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SEL...

Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::13016:611977060

Fecha de entrega
2 ago 2026, 19:03 GMT-5

Fecha de descarga
2 ago 2026, 21:47 GMT-5

Nombre del archivo
T036_47384086_T.docx

Tamaño del archivo
13.5 MB

109 páginas

14.882 palabras

85.607 caracteres

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

12% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Metadatos Complementarios

TÍTULO DE LA TESIS	
MEJORA DE RENDIMIENTO OPERATIVO DE UN MOLINO DE BOLAS HORIZONTAL DE 3 TONELADAS/HORA MEDIANTE SELECCIÓN DE MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA EMPRESA MINERA GOLD COMPANY RINCONADA, 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	GUIDO CAHUANA YUCRA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47384086
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-0838-8243
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476

Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA E INGENIERIA MECÁNICA – P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Antonio de Putina Distrito: Ananea **Coordenadas:** **Latitud:** -14.631194456619008 **Longitud:** -69.4457836569439 **Geolocalización** https://maps.app.goo.gl/UKeUmXfS3Hz8jEu26 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2025 - Junio 2026
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	**Ingeniería Mecánica** **https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00** **Mecánica aplicada** **https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02**

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Guido Cahuana Yuca, identificado con DNI Nro. 47384086 en mi condición de egresado de:

☑ **Escuela Profesional**

☐ **Programa de Segunda Especialidad,**

☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

Ingeniería Mecánica Eléctrica,

informo que he elaborado el/la ☐ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación,** ☐ **Trabajo Académico** denominada:

Mejora de rendimiento operativo de un molino de bolas horizontal de 3 toneladas / hora mediante selección de materiales y procesos de manufactura en la empresa minera Gold Company Rinconada, 2025

Asesorado por: Ing. Adwar Ramulfo Sanchez Carreon

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 14 de Julio del 2026

Firma del Asesor (obligatoria)	Firma del Estudiante (obligatoria)	Huella

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
http://repositorio.uancv.edu.pe/

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a las personas que han sido parte de mi vida y me han brindado su apoyo incondicional, especialmente a quienes siempre me han motivado a seguir adelante y son mi fortaleza en cada uno de mis proyectos y metas.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios y a mis mentores quienes me guiaron a lo largo de mi formación académica.

A mi amada esposa, Alejandra, por su amor, apoyo y comprensión incondicional durante todo este proceso.

A mis queridos hijos, Alessa y Lucciano, quienes son mi mayor inspiración y la razón que me impulsa a seguir superándome cada día.

Con todo mi amor y gratitud.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA iii
AGRADECIMIENTO iv
ÍNDICE GENERAL v
ÍNDICE DE FIGURAS ix
ÍNDICE DE TABLAS x
RESUMEN xi
ABSTRACT xiii
INTRODUCCIÓN xv

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.1.1. Problema General 3
1.1.2. Problemas Específicos 4
1.2. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO 4
1.2.1. Justificación Teórica: 4
1.2.2. Justificación Practica: 4
1.2.3. Justificación Metodológica: 4
1.3. OBJETIVOS 5
1.3.1. Objetivo General 5
1.3.2. Objetivos Específicos 5
1.4. HIPOTESIS 5
1.4.1. Hipótesis General 5
1.4.2. hipótesis Específicos 6
1.5. VARIABLES 6

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION 7

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL 7
2.1.2. A NIVEL NACIONAL 8
2.1.3. A NIVEL REGIONAL 9
2.2. MARCO TEORICO 10
2.2.1. Molinos 10
2.2.2. Molienda 13
2.2.3. El desplazamiento de la carga en los molinos. 15
2.2.4. Diseño de las flechas 16
2.2.5. Configuración del Eje 17
2.2.6. Materiales de ejes 17
2.2.7. Diseño de ejes para el esfuerzo 19
2.2.8. Esfuerzos en ejes 20
2.2.9. Ingeniería mecánica 22
2.2.10. Procesos de manufactura en la fabricación y optimización de un molino de bolas 25
2.3. MARCO CONCEPTUAL 28

CAPITULO III

PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

3.1. Método de investigación 32
3.2. Tipo y nivel de investigación 32
3.3. Ámbito de la investigación 33
3.4. Población y muestra 33
3.4.1. Población 33
3.4.2. Muestra 33
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información 34
3.5.1. Técnicas 34
3.5.2. Instrumentos 34
3.6. Recolección de datos 34

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico técnico del molino actual 36
4.1.1. Requisitos y Especificaciones del Diseño 37
4.2. Requisitos y Especificaciones del Diseño 38
4.3. Cálculo del Tamaño del Molino y Parámetros de Operación 39
4.4. Factores de corrección 40
4.4.1. Wi corregido 40
4.4.2. Consumo de energía específica 40
4.4.3. Potencia mecánica 41
4.4.4. Potencia eléctrica requerida 41
4.4.5. Cálculo del diámetro interno (D) 41
4.4.6. Longitud (L) 41
4.4.7. Velocidad crítica (Nc) 41
4.4.8. Tamaño óptimo de bola (Bs) 42
4.5. Selección de materiales y equipos 42
4.5.1. Criterios de selección 43
4.6. Procesos de manufactura y control 45
4.7. Equipos auxiliares e instrumentación 47
4.8. Repuestos críticos y consumibles 47
4.9. Normativa y aceptación 48
4.10. Resultado esperado de la selección 48
4.11. Procedimientos de fabricación y plan de control 48
4.11.1. Ruta de proceso por componente crítico 48
4.12. Plan de control en montaje y puesta en marcha 50
4.12.1. Alineación tren motriz: 50
4.12.2. Lubricación y sellos: 51
4.12.3. Pruebas operativas: 51
4.12.4. Criterios de aceptación: 51
4.12.5. Hojas de verificación (checklists) esenciales 51
4.12.6. Riesgos críticos y mitigación 52
4.12.7. Documentación y trazabilidad 52

4.13. Resultado esperado 52
4.14. Validación de Desempeño 54
4.14.1. Evidencias técnicas 55
4.14.2. Validación con objetivos 57
4.14.3. Análisis económico de la mejora 58
4.15. Representación gráfica 59
4.16. Resumen Ejecutivo de Resultados 61
CONCLUSIONES 62
RECOMENDACIONES 64
BIBLIOGRAFÍA 65
ANEXO 1: Matriz de consistencia 70
ANEXO 2: Formatos Utilizados para la Manufactura: 72
ANEXO 3: Panel fotográfico Ensamblaje del molino de bolas 78
ANEXO 4: Planos de ensamblaje 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Molino de Bolas 10
Figura 2 Molino a Martillo 11
Figura 3 Molinos Pendulares 12
Figura 4 El diagrama de Goodman 22
Figura 5 El diagrama de fatiga muestra múltiples criterios de fallo. 22
Figura 6 Partes de desfogue de cosecha de un molino de Bolas 24
Figura 7 Deslamador de molienda. 24
Figura 8 Generación de reporte en Microsoft exel 56
Figura 9 Simulación en software Inventor 2021 57
Figura 10 Capacidad de molienda antes y después. 60
Figura 11 Consumo específico de energía antes y después. 60
Figura 12 Vida útil de liners antes y después. 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagnóstico cuantitativo del problema en la empresa 2

Tabla 2 Resistencia mínima determinista ASTM a la tracción y a la fluencia de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD)..... 19

Tabla 3 Diagnóstico técnico del molino actual..... 36

Tabla 4 Resumen de parámetros de diseño..... 42

Tabla 5. Matriz de decisión técnica para materiales propuestos..... 42

Tabla 6 Materiales por componente (selección técnica) 44

Tabla 7 Plan de inspección y ensayos (PIT)..... 50

Tabla 8 Registros comparativos antes y después de la mejora 53

Tabla 9 Resultado de la prueba t pareada..... 53

Tabla 10 Parámetros comparativos 54

Tabla 11 Elementos de simulación 56

Tabla 12 Costo estimado de implementación..... 58

Tabla 13 Beneficio económico mensual estimado 59

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito optimizar el rendimiento operativo de un molino de bolas horizontal en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, durante el año 2025, mediante la adecuada selección de materiales y la implementación de procesos de manufactura estandarizados. El estudio se enmarcó dentro de una investigación aplicada, orientada a la mejora técnica del equipo, evaluando la situación inicial del molino, sus limitaciones de capacidad y los factores que incidían en su bajo desempeño operativo.

En la etapa de diagnóstico se identificó que el molino, con una capacidad nominal superior a la producción real alcanzada, operaba en condiciones reducidas de aproximadamente 2,4 Tn/h, debido a deficiencias en el diseño, desgaste de componentes críticos y una inadecuada selección de materiales en los elementos sometidos a impacto y abrasión. A partir de ello, se propuso un plan de mejora basado en la metodología Six Sigma, bajo el enfoque DMAIC, que comprendió la revisión del diseño, la selección de materiales de mayor resistencia al desgaste, como liners de acero al manganeso y bolas forjadas de 3", así como la aplicación de procesos de manufactura, soldadura, inspección técnica, ensayos no destructivos, alineamiento y control operativo del sistema de molienda.

Los resultados evidenciaron una mejora del rendimiento de 2,4 Tn/h a 3,0 Tn/h, equivalente a un incremento aproximado del 25 %. Asimismo, se obtuvo una reducción del consumo específico de energía, una mejora en la disponibilidad operativa del equipo y un incremento en la vida útil de los componentes de molienda. De igual forma, la disminución de la granulometría del producto

permitió obtener una molienda más eficiente, favoreciendo el aprovechamiento del mineral y la sostenibilidad del proceso productivo.

Se concluye que los objetivos planteados fueron cumplidos satisfactoriamente, demostrando que la aplicación de una metodología estructurada de mejora, junto con una adecuada selección de materiales y procesos de manufactura, contribuye significativamente a incrementar la eficiencia, confiabilidad y disponibilidad del molino de bolas. Finalmente, se recomienda mantener un plan de control operativo basado en el monitoreo de parámetros críticos, asegurar la provisión de repuestos estratégicos y consolidar las mejoras mediante un sistema de gestión continua orientado a la mejora permanente del proceso de molienda.

Palabras clave: Molino de bolas horizontal; Rendimiento operativo; Selección de materiales; Procesos de manufactura; Six Sigma; Minería aurífera.

ABSTRACT

The present research aimed to optimize the operational performance of a 3 tons per hour horizontal ball mill at the Gold Company Rinconada Mining Enterprise (2025), through the appropriate selection of materials and the implementation of standardized manufacturing processes. The study followed an applied approach, with a non-experimental and descriptive design, evaluating the initial condition of the equipment, its reduced capacity, and the factors affecting its low performance.

The diagnosis revealed that the mill, originally designed for a nominal capacity of 3 Tn/h, was operating at only 2.4 Tn/h, due to design miscalculations and the inadequate selection of materials in key grinding components. Based on this, a manufacturing plan based on the Six Sigma DMAIC methodology was proposed, which included redesign considerations, the selection of high wear-resistant materials (manganese steel liners and 3" forged balls), and the application of certified welding processes, non-destructive testing, and dynamic balancing under international standards.

The results showed an increase in throughput from 2.4 Tn/h to 3.0 Tn/h (+25 %), a reduction of 21 % in specific energy consumption, and an improvement in operational availability from 85 % to 93 %. Additionally, the service life of liners increased by 50 %, ball consumption decreased by 22 %, and product particle size improved from 180 µm to 120 µm, ensuring more efficient and sustainable grinding.

It is concluded that the research objectives were satisfactorily achieved, validating that the application of a structured manufacturing methodology and the appropriate selection of materials can significantly improve the efficiency,

reliability, and sustainability of grinding equipment. Finally, it is recommended to maintain an operational control plan with continuous monitoring of critical parameters, secure the supply of strategic spare parts, and consolidate improvements through a continuous improvement system based on Six Sigma.

Keywords: Horizontal ball mill; Operational performance; Material selection; Manufacturing processes; Six Sigma; Gold mining.

INTRODUCCIÓN

La minería aurífera constituye una de las actividades económicas más relevantes en el sur del Perú, especialmente en la región de Puno, donde la producción se orienta tanto al mercado nacional como internacional. En este contexto, el procesamiento eficiente del mineral adquiere un papel crucial, ya que incide directamente en la rentabilidad, sostenibilidad y competitividad de las empresas del sector. Uno de los equipos esenciales en las plantas de beneficio es el molino de bolas horizontal, utilizado para la reducción de tamaño del mineral y la liberación de partículas valiosas.

En la Empresa Minera Gold Company Rinconada, ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, se emplea un molino de bolas horizontal con capacidad de 3 toneladas por hora. Sin embargo, en los últimos años, se han identificado limitaciones en su rendimiento operativo, reflejadas en tiempos improductivos, desgaste prematuro de componentes y variabilidad en la granulometría del producto. Estos problemas, además de incrementar los costos de mantenimiento, afectan el cumplimiento de las metas de producción y disminuyen la eficiencia global del proceso.

Una de las causas principales de esta situación está relacionada con la inadecuada selección de materiales para los componentes críticos del molino, así como con la ausencia de criterios óptimos en los procesos de manufactura. La elección inadecuada de aceros, aleaciones y tratamientos superficiales, sumada a técnicas de fabricación poco estandarizadas, contribuye a fallas recurrentes y a una reducción en la vida útil de las piezas.

En este sentido, a través del empleo de software CAD y herramientas de

simulación, se proyecta el diseño y análisis de mejoras que permitan optimizar el rendimiento y la eficiencia operativa del molino. Estas tecnologías facilitarán la evaluación de distintas configuraciones y materiales antes de su implementación física, con el propósito de aumentar la recuperación de minerales valiosos, disminuir el consumo energético y elevar la productividad global del molino de bolas horizontal. Con ello, se espera no solo mejorar la capacidad de producción, sino también incrementar la competitividad de la empresa en el mercado minero.

En este marco, la presente investigación tiene como propósito mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 T/h mediante la selección óptima de materiales y la implementación de procesos de manufactura adecuados, apoyados en análisis computacional y simulación, con el fin de aumentar su disponibilidad, reducir costos operativos y prolongar la durabilidad de sus componentes, considerando un enfoque aplicado y orientado a resultados prácticos para la realidad de la empresa minera.

Este trabajo no solo busca aportar beneficios directos a la Empresa Gold Company Rinconada, sino también servir como referencia para otras operaciones mineras que enfrentan problemas similares, contribuyendo al fortalecimiento tecnológico y productivo del sector minero en la región de Puno.

La presente investigación está estructurada por cuatro capítulos. El Capítulo I aborda el planteamiento del problema, los objetivos, la formulación de hipótesis. En el Capítulo II fundamentos teóricos, antecedentes. El Capítulo III describe la metodología de la investigación. Finalmente, el Capítulo IV resultados y discusiones, recomendaciones y referencias, anexos.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A NIVEL INTERNACIONAL: La industria minera global enfrenta desafíos constantes en la eficiencia operativa de los equipos de molienda, especialmente los molinos de bolas, los cuales son esenciales en el procesamiento de minerales. Estudios indican que una inadecuada selección de materiales y procesos de manufactura reduce la vida útil de los componentes internos, aumentando el consumo energético y disminuyendo la productividad. Empresas líderes como BHP y Vale han incorporado estrategias de mejora de rendimiento basadas en la selección de materiales de alta resistencia al desgaste, logrando mejoras significativas en eficiencia y reducción de costos operativos.

A NIVEL NACIONAL: En el Perú, la minería representa una de las principales actividades económicas, siendo vital la optimización del rendimiento de sus equipos. Empresas como Buenaventura y Southern Perú han evidenciado que la implementación de procesos de manufactura especializados y selección adecuada de materiales en molinos de bolas incrementan la capacidad de molienda y reducen el tiempo de mantenimiento. Sin embargo, muchas empresas de mediana minería aún

utilizan materiales convencionales que se desgastan rápidamente bajo condiciones severas, afectando la continuidad operativa.

A NIVEL LOCAL: En la Empresa Minera Gold Company Rinconada, ubicada en La Rinconada, distrito de Ananea, se cuenta con un molino de bolas horizontal con capacidad nominal de 3 Tn/h. No obstante, la revisión de los registros de operación y mantenimiento evidencia que el equipo trabaja por debajo de su capacidad de diseño, alcanzando un rendimiento promedio de 2,4 Tn/h, con variaciones entre 2,3 y 2,5 Tn/h. Esta disminución se asocia al desgaste prematuro de liners, mayor consumo de bolas, granulometría de descarga fuera del objetivo, consumo específico de energía elevado y paradas por mantenimiento correctivo. Por ello, el problema no se limita a una deficiencia descriptiva del equipo, sino a una pérdida cuantificable de capacidad, disponibilidad y eficiencia energética que afecta la continuidad productiva y eleva los costos operativos de la planta.

Tabla 1.
Diagnóstico cuantitativo del problema en la empresa

Indicador evaluado	Condición actual diagnosticada	Condición requerida u objetivo	Efecto técnico en el proceso
Capacidad nominal del molino	3,0 Tn/h	Mantener 3,0 Tn/h de manera estable	Define la capacidad de diseño que debe recuperarse.
Capacidad real promedio	2,4 Tn/h	3,0 Tn/h	Déficit de 0,6 Tn/h; pérdida aproximada del 20 % respecto a la capacidad nominal.
Consumo específico de energía	15,5 kWh/Tn	12,2 kWh/Tn	Mayor costo energético por tonelada molida.
Disponibilidad operativa	85 %	93 %	Menor tiempo efectivo de producción por paradas e

			intervenciones correctivas.
MTBF	220 h	310 h	Mayor frecuencia de fallas o intervenciones.
MTTR	4,0 h	2,8 h	Tiempo de reparación elevado frente a la condición optimizada.
Vida útil de liners	6 meses	9 meses	Desgaste acelerado de blindajes internos.
Consumo de bolas	1,35 kg/Tn molida	1,05 kg/Tn molida	Mayor consumo de cuerpos moledores y costo operativo.
Granulometría del producto P80	180 µm	120 µm	Molienda menos eficiente para la etapa metalúrgica posterior.

Elaboración: propia

La Tabla C-1 permite sustentar el planteamiento del problema con indicadores medibles. En consecuencia, la investigación se orienta a recuperar la capacidad nominal del molino, disminuir el consumo energético específico, aumentar la disponibilidad operativa y prolongar la vida útil de los componentes sometidos a impacto y abrasión.

FORMULACION DEL PROBLEMA:

1.1.1. Problema General

PG.- ¿De qué manera la selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyen a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 T/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025?

1.1.2. Problemas Específicos

PE1.- ¿Cuáles son los factores técnicos y operativos que limitan actualmente el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal en la Empresa Minera Gold Company Rinconada?

PE2.- ¿Qué procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo pueden aplicarse para mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad y la productividad del molino de bolas horizontal?

PE3.- ¿De qué manera el uso de herramientas de simulación computacional y diseño asistido por computadora CAD/CAE contribuye a la optimización del rendimiento operativo del molino de bolas horizontal?

1.2. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

1.2.1. Justificación Teórica:

Esta investigación contribuirá al conocimiento técnico en el área de selección de materiales y manufactura aplicada a equipos de molienda, permitiendo futuras investigaciones y mejoras tecnológicas en el sector minero.

1.2.2. Justificación Practica:

Permitirá reducir los costos de mantenimiento, aumentar la disponibilidad operativa del molino y mejorar la eficiencia del proceso de molienda en Gold Company Rinconada.

1.2.3. Justificación Metodológica:

Se empleará un enfoque mixto basado en observación directa, análisis de desgaste, evaluación comparativa de materiales y análisis técnico de procesos de manufactura aplicables a componentes de molinos de bolas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

OG.- Determinar de qué manera la selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyen a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 T/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025.

1.3.2. Objetivos Específicos

OE1.- Identificar los factores técnicos y operativos que limitan actualmente el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal en la Empresa Minera Gold Company Rinconada.

OE2.- Analizar los procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo que pueden aplicarse para mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad y la productividad del molino de bolas horizontal.

OE3.- Evaluar de qué manera el uso de herramientas de simulación computacional y diseño asistido por computadora CAD/CAE contribuye a la optimización del rendimiento operativo del molino de bolas horizontal.

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. Hipótesis General

HG.- La selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyen significativamente a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 T/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025.

1.4.2. hipótesis Específicos

HE1.- La identificación de los factores técnicos y operativos que limitan actualmente el rendimiento del molino de bolas horizontal permitirá establecer acciones de mejora para optimizar su desempeño operativo en la Empresa Minera Gold Company Rinconada.

HE2.- La aplicación de procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo adecuados permitirá mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad y la productividad del molino de bolas horizontal.

HE3.- El uso de herramientas de simulación computacional y diseño asistido por computadora CAD/CAE contribuirá a optimizar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal, mediante el análisis técnico de materiales, componentes y condiciones de operación.

1.5. VARIABLES

Variable Independiente: Selección de materiales y procesos de manufactura.

Variable Dependiente: Rendimiento operativo del molino de bolas.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Zhou, X. et al. (2020). "Enhancing Ball Mill Productivity by Optimizing Liner Material and Design in Copper Ore Processing" Tsinghua University – China. El estudio implementó un rediseño de los revestimientos internos de molino de bolas utilizando acero de baja aleación con recubrimiento cerámico, logrando reducir el desgaste en un 35% y aumentando la productividad del molino en un 22%. El trabajo demostró que la selección del material influye directamente en el rendimiento operativo.

Silva, M., & Pereira, J. (2021). "Material selection and manufacturing process optimization in SAG and ball mills in Chilean mining operations". Universidad Técnica Federico Santa María – Chile. Esta investigación analizó fallas comunes en componentes de molinos SAG y de bolas, proponiendo aceros aleados templados y tratamientos térmicos específicos. Se obtuvo una mejora en la disponibilidad operativa del equipo y una reducción significativa de paradas no programadas.

Smith, R., & Jones, T. (2022). "Wear behavior and performance improvement of ball mill liners using advanced fabrication techniques". Colorado School of Mines – Estados Unidos. Se compararon procesos de fabricación de liners mediante fundición tradicional versus técnicas de sinterizado de alta presión. Se concluyó que los liners fabricados con aleaciones sinterizadas duplicaron su vida útil y mejoraron el rendimiento energético del molino.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

Gómez Gonzales, J. (2021). "Propuesta de mejora del rendimiento de un molino de bolas mediante selección de bolas de acero aleado y revestimientos antidesgaste en la planta concentradora de Minera Apumayo – Ayacucho". Universidad Nacional del Centro del Perú. Se identificó que el bajo rendimiento del molino estaba relacionado al desgaste acelerado de los revestimientos internos y bolas de molienda. Se implementaron bolas de acero aleado y liners de acero al cromo-molibdeno, lo que permitió aumentar la eficiencia de molienda en un 25%.

Yupanqui Espinoza, R. (2020). "Evaluación de materiales de fabricación de trunnions en molinos de bolas en la Unidad Minera San Rafael – Puno" Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. La investigación analizó fallas recurrentes en los trunnions de molinos debido a fatiga del material. Se propuso el uso de acero forjado con tratamiento térmico, logrando duplicar su vida útil y reducir tiempos de parada.

Chávez Mamani, F. (2019). "Optimización del proceso de fabricación de componentes críticos del molino de bolas utilizando soldadura por

recargue en la empresa Minera Shougang Hierro Perú – Ica" Universidad Nacional del Callao. El estudio abordó la mejora del rendimiento de molinos mediante técnicas de recargue de soldadura en zonas de alto desgaste. Se logró mejorar la resistencia superficial de los componentes hasta en un 40% y reducir los costos de mantenimiento.

2.1.3. A NIVEL REGIONAL

Valdivia, E. (2021). "Evaluación del desgaste en los liners del molino de bolas y propuesta de mejora con acero al manganeso Hadfield en la planta minera Rumi Punco – Puno". Universidad Nacional del Altiplano – Puno. El estudio identificó altos niveles de desgaste en los liners tradicionales del molino, proponiendo como mejora el uso de acero al manganeso Hadfield, logrando aumentar la vida útil en un 30% y mejorando el rendimiento operativo del molino.

Mamani, L. (2022). "Optimización de la eficiencia de molienda en el molino de bolas mediante análisis de materiales abrasivos y parámetros de operación en la planta minera Santa Lucía – Puno" Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Esta investigación se centró en analizar el comportamiento de distintos tipos de bolas de molienda y su influencia en la productividad del molino, proponiendo una combinación óptima de materiales y parámetros operativos.

Condori, J. (2023). "Selección de procesos de recubrimiento antidesgaste para componentes internos de molinos de bolas en la unidad minera Rinconada – San Antonio de Putina" Universidad Nacional del Altiplano – Puno. El trabajo propuso el uso de recubrimientos cerámicos y soldaduras

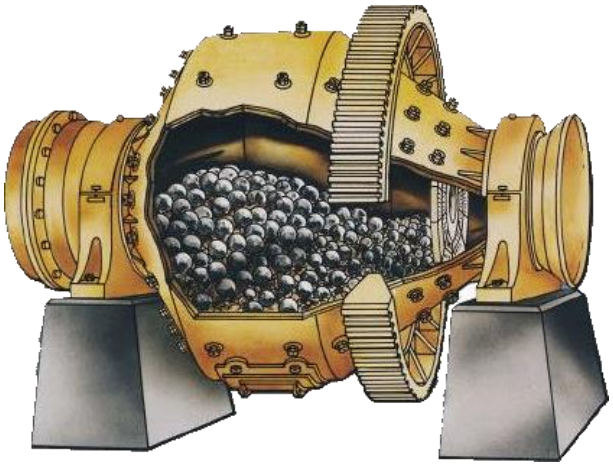
especiales en trunnions y placas internas del molino. La aplicación permitió una mejora en la resistencia al desgaste y reducción del tiempo medio de mantenimiento en un 18%.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Molinos

Los molinos de minería son equipos empleados en instalaciones mineras con el fin de triturar rocas, disminuir su tamaño y facilitar su utilización en las etapas subsiguientes del procesamiento del mineral.

Figura 1
Molino de Bolas



Nota: Molino de Bolas. (Carbosystem 2022)

2.2.1.1. MOLINOS HORIZONTALES

Algunos modelos son:

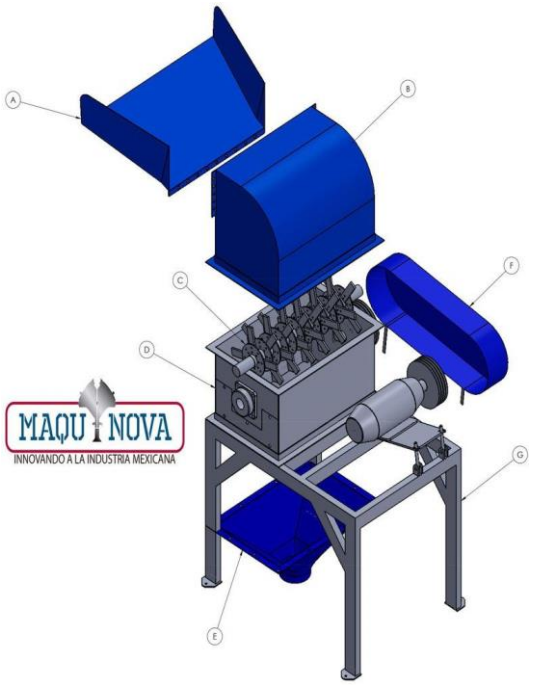
2.2.1.1.1. Molinos a Martillo

Los molinos a martillos se fundamentan en un eje horizontal rotativo del cual cuelgan de forma articulada unas piezas metálicas, conocidas como

martillos. Estos martillos golpean el material a moler al hacer que pase a través de los espacios que se encuentran entre las paredes cilíndricas del molino, el eje y los propios martillos, permitiendo así una molienda efectiva. Por lo tanto, también operan mediante el proceso de trituración.

Los molinos de este tipo se utilizan para la pulverización de materiales que no son muy resistentes a los impactos, así como para aquellos de dureza media, como por ejemplo los minerales de calcio y otros materiales minerales.

Figura 2
Molino a Martillo



Nota: Molino a Martillo, (Maquinova 2024)

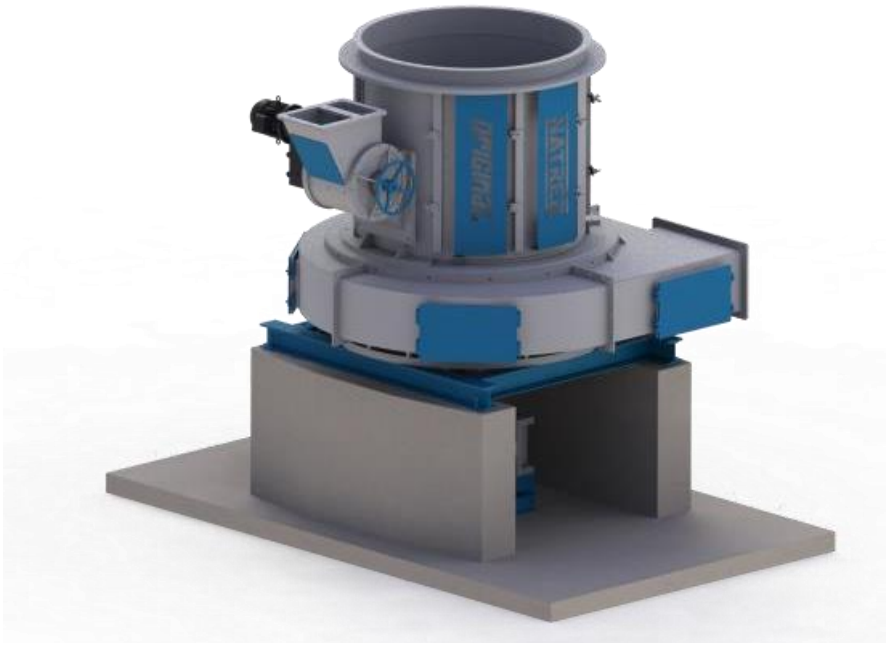
2.2.1.1.2. Molinos Pendulares

Los molinos pendulares son empleados en el proceso de molienda de materiales duros, así como en situaciones que involucran el trabajo con sustancias abrasivas. De esta manera, es posible triturar minerales como

calcáreos, fosfatos, arcillas, carbonatos, entre otros, junto con materias minerales y químicas.

El funcionamiento de este sistema se fundamenta en la fuerza centrífuga generada por la rotación de los péndulos alrededor del eje vertical del molino. Esta fuerza provoca la compresión del material entre los rodillos de los péndulos y un anillo de rodadura que se encuentra fijo en la estructura del molino.

Figura 3
Molinos Pendulares



Nota: Molinos Pendulares (Natreb, 2024)

2.2.1.1.3. Molinos de Bolas

El proceso de molienda en los molinos de bolas consiste en una carcasa cilíndrica o cónica que gira sobre un eje horizontal. Estos molinos se llenan de bolas de acero, sílex o porcelana que sirven de bolas de molienda. Pruebas experimentales han determinado que, para materiales muy

quebradizos, el tamaño óptimo de alimentación de los molinos de bolas oscila entre 2,4 y 4 cm (1 a 1 1 1⁄2 pulg.). Sin embargo, en la práctica, el tamaño máximo de alimentación recomendado suele ser de 1,3 cm (1/2 pulg.). La mayoría de los molinos de bolas funcionan con una relación de reducción que oscila entre 20:1 y 200:1.

2.2.2. Molienda

La fase final del proceso de trituración es la molienda, durante la cual se reduce el tamaño de las partículas mediante una mezcla de impacto y abrasión, ya sea en estado seco o como una suspensión de agua conocida como lodo. El proceso de molienda tiene lugar en molinos cilíndricos que giran horizontalmente y están llenos de bolas de molienda sueltas denominadas "bolas de molienda". Estas bolas se mueven libremente al girar el molino, lo que provoca la trituración de las partículas de mineral.

El tamaño del material a moler desempeña un papel crucial en el proceso de molienda. Cuando se trata de grandes volúmenes de material, es esencial llevar a cabo una operación preliminar de trituración para reducir el tamaño de las partículas a aproximadamente 15 mm en uno o dos pasos. Posteriormente, el proceso de trituración tiene como objetivo reducir aún más las partículas hasta convertirlas en un polvo fino capaz de pasar a través de pequeñas aberturas de tamiz, que normalmente miden sólo decenas de micras de diámetro.

Se pueden encontrar siete tipos de molienda

- ***Molienda simple.*** En este tipo de molienda sólo se convierte el material en elementos inferiores a una dimensión determinada (sin

ninguna consideración de la granulometría interna del producto).

- ***Molienda forzada.*** En este tipo de molienda el producto molido debe tener claramente una cantidad de finos superior a un límite determinado; es decir, el producto molido debe presentar la máxima superficie posible dentro de un rango determinado.

- ***Molienda condicionada****.* En ocasiones, puede interesar obtener la menor cantidad posible de materiales super triturados, bien porque sea necesario o bien porque sea perjudicial. Existen varios tipos de molienda condicional los cuales se verán a continuación.

- **Molienda diferencial.** Denominada selectiva, aplicada a productos estructuralmente heterogéneos, permite con ciertas precauciones aumentar la reducción de los componentes fiables algo más que la de los componentes más duros. De esta manera es posible una selección más o menos gruesa, mediante clasificación volumétrica los resultados de la molienda diferencial son esencialmente función de la naturaleza física del material a tratar.

- **Molienda formal.** Se trata de operaciones de fragmentación en las cuales la forma de los fragmentos obtenidos influye en el valor del producto.

- **Auto molienda**. Trata de operaciones de reducción volumétrica en las cuales los elementos a moler se fragmentan por percusión y fricción recíproca, es decir la molienda se produce por efecto de los mismos trozos de material.

- **Molienda criogénica.** Fragmentación de sólidos previamente enfriados a muy bajas temperaturas (en general mediante nitrógeno líquido).

2.2.3. El desplazamiento de la carga en los molinos.

Una característica que distingue a los molinos rotatorios es la utilización de bolas de molienda de gran tamaño y peso en comparación con las partículas de mineral, pero modestas en relación con la capacidad del molino, ya que ocupan menos del cincuenta por ciento del volumen total.

Durante la rotación del molino, las bolas se levantan por el lado que mira hacia el material entrante hasta que alcanzan un estado de equilibrio dinámico. Esto hace que las bolas de molienda fluyan y caigan sobre la superficie de las otras bolas, formando un efecto de cascada, mientras que en el fondo de la carga del molino se forma una zona estancada. En un molino rotatorio, pueden identificarse tres tipos distintos de movimiento de las bolas. En primer lugar, hay rotación alrededor del eje del molino. En segundo lugar, existe la caída en cascada, en la que las bolas se mueven rodando por la superficie de otros cuerpos. Por último, existe la caída en cascada, en la que los medios de molienda caen libremente sobre el "pie" de la carga.

La elevación generada por las bolas depende tanto de la velocidad de rotación del molino como de las características de su revestimiento. A bajas velocidades o cuando se utilizan revestimientos lisos, las bolas tienden a moverse en dirección al extremo inferior del molino, lo que provoca una trituración principalmente abrasiva. El proceso de cascada da

lugar a una molienda más refinada, lo que conlleva una mayor generación de polvo y un aumento de la erosión de los revestimientos. A mayor velocidad, los cuerpos moledores son propulsados por encima del material para formar una secuencia de trayectorias parabólicas antes de alcanzar la base del material. La cascada genera una conminución por impacto, lo que da como resultado un producto más grueso con un menor desgaste del revestimiento.

Cada tipo de molino se compone de una carcasa cilíndrica que contiene revestimientos reemplazables y una carga de material de molienda. El tambor está montado sobre muñones huecos firmemente sujetos a las paredes laterales, lo que le permite girar alrededor de su eje central. El diámetro del molino influye directamente en la presión que los medios pueden ejercer sobre las partículas de mineral. En general, un mayor tamaño de alimentación requiere un mayor diámetro. La longitud del molino, junto con su diámetro, determina su volumen y, por tanto, su capacidad.

2.2.4. Diseño de las flechas

Un eje es un componente cilíndrico que gira y se utiliza habitualmente para transferir potencia o movimiento. Determina el eje de rotación u oscilación de diversos componentes, como engranajes, poleas, volantes, manivelas, cataratas y piezas similares. Además, rige la geometría de movimiento de estos elementos.

Un eje es un componente estacionario que no transfiere fuerza rotacional y se emplea para proporcionar soporte a ruedas giratorias, poleas y

componentes similares. El eje de un automóvil no es un auténtico eje. La expresión "holgura" hace referencia a un concepto que se originó en la época en que se utilizaban con frecuencia los coches de caballos. Durante esta época, las ruedas de estos carruajes estaban diseñadas para girar sobre piezas fijas, lo que constituye la base de este nombre.

Un eje que no gira puede construirse y estudiarse como una viga estática sin requerir el mismo nivel de atención que los ejes giratorios que experimentan cargas de fatiga, que son objeto de consideración específica en este capítulo. (Budynas R.G., Nisbett J.K., 2011, página 348)

2.2.5. Configuración del Eje

Al principio del proceso de diseño, es necesario especificar la configuración general de un eje para acomodar varias piezas del eje, como engranajes, rodamientos y poleas. Esto es importante para realizar un análisis de fuerzas de cuerpo libre y producir diagramas de momento cortante.

Normalmente, la forma de un eje puede describirse como la de un objeto cilíndrico con múltiples escalones o niveles. Los hombros son un método muy eficaz para posicionar axialmente los componentes del eje y aplicar la fuerza axial necesaria. (Budynas R.G., Nisbett J.K., 2011, página 349).

2.2.6. Materiales de ejes

La deformación de un material viene determinada por su rigidez, expresada por el módulo de elasticidad. Esta propiedad permanece

relativamente constante en todos los tipos de acero y no se ve influida por la resistencia del material. Por lo tanto, la regulación de la rigidez depende únicamente de juicios geométricos y no de la elección del material. La selección de materiales y sus tratamientos está influida por el nivel de resistencia necesario para soportar las tensiones de carga.

Algunos ejes se fabrican con acero bajo en carbono, acero estirado en frío o acero laminado en caliente. Normalmente, los ejes no necesitan endurecimiento superficial a menos que funcionen como una capa protectora en una superficie que entra en contacto con otra superficie. Las aleaciones de acero tratables térmicamente más utilizadas son ANSI 1340-50, 3140-50, 4140, 4340, 5140 y 8650. Las características del eje se ven influidas por sus condiciones específicas, como el trabajo en frío, la conformación en frío, el laminado de las características del filete, el tratamiento térmico, incluido el tipo de medio de temple utilizado, y el proceso de revenido. Características que se pueden observar de la (Tabla 1) (Budynas R.G., Nisbett J.K., 2011.p. 348)

Tabla 2
Resistencia mínima determinista ASTM a la tracción y a la fluencia de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: Tomado de Mecánica de Materiales, Hibbeler, 2017.

2.2.7. Diseño de ejes para el esfuerzo

No es necesario evaluar las tensiones en todos los puntos de un eje; basta con hacerlo en unas pocas posiciones potencialmente cruciales. Normalmente, estas posiciones están situadas en la superficie exterior, en posiciones axiales donde el momento flector es significativo, donde hay par de torsión y donde se producen concentraciones de tensiones. Los diagramas de momentos de cizalladura y flexión pueden utilizarse para determinar los momentos de flexión alrededor de un eje.

Los momentos resultantes se obtienen sumando vectorialmente los momentos en los lugares específicos de interés a lo largo del eje. Un

momento flector constante generará un momento completamente reversible alrededor de un eje giratorio, haciendo que un elemento de tensión específico alterne entre compresión y tensión con cada revolución del eje. La tensión normal máxima resultante de los momentos flectores se producirá en las superficies exteriores Cuando un rodamiento se coloca en el extremo de un eje, las tensiones alrededor del rodamiento no suelen ser significativas debido al modesto momento flector. Los esfuerzos axiales sobre los ejes, debidos a componentes axiales transmitidos a través de engranes helicoidales o cojinetes ahusados de rodillo, casi siempre son despreciables en comparación con el esfuerzo de momento flexionante. (Budynas R.G., Nisbett J.K.,2011. P. 354)

2.2.8. Esfuerzos en ejes

Los componentes medios y alternos pueden experimentar esfuerzos de flexión, torsión o axiales. En ocasiones, resulta ventajoso personalizar las ecuaciones, especialmente para su uso en aplicaciones de ejes.

Normalmente, las cargas axiales son despreciables en áreas importantes donde la flexión y la torsión son los factores principales, por lo que pueden excluirse de las ecuaciones posteriores. Las tensiones variables resultantes tanto de la flexión como de la torsión pueden expresarse como:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \qquad \sigma_m = K_f \frac{M_m c}{I}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a c}{J} \qquad \tau_m = K_{fs} \frac{T_m c}{I}$$

Las variables Mm y Ma representan los momentos flectores medios y alternos, mientras que Tm y Ta representan los pares medios y alternos. Kf y Kfs son los factores de concentración de esfuerzos de fatiga para flexión y torsión, respectivamente.

Si se supone un eje sólido con sección transversal redonda, pueden introducirse términos geométricos apropiados para c, I y J, lo que resulta en

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \qquad \sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \qquad \tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$$

Cuando se combinan estos esfuerzos de acuerdo con la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios, redondos y sólidos, sin tomar en cuenta las cargas axiales, están dados por (Budynas R.G., Nisbett J.K., 2011. P. 356)

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_fM_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16K_{fs}T_a}{\pi d^3}\right)^2\right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_fM_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16K_{fs}T_m}{\pi d^3}\right)^2\right]^{1/2}$$

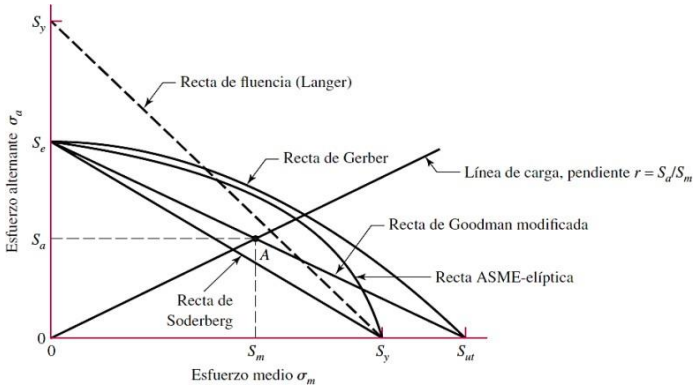
Los factores de concentración del esfuerzo se consideran opcionales para los componentes medios con materiales dúctiles, debido a la capacidad de éstos de fluir localmente en la discontinuidad. Las tensiones medias y alternas pueden estimarse utilizando una curva de fallo adecuada en el diagrama de Goodman modificado (véanse las figuras 1 y 2). El criterio de

fallo por fatiga denominado-línea de Goodman (Budynas R.G., Nisbett J.K., 2011.p. 356) puede explicarse de la siguiente manera: la sustitución de $\sigma a'$ y $\sigma m'$ en las ecuaciones: Para propósitos de diseño, también es deseable resolver la ecuación para el diámetro. Esto resulta:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_fM_a)^2 + 3(K_{fs}T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}}\left[4(K_fM_m)^2 + 3(K_{fs}T_m)^2\right]^{1/2}\right\}\right)^{1/3}$$

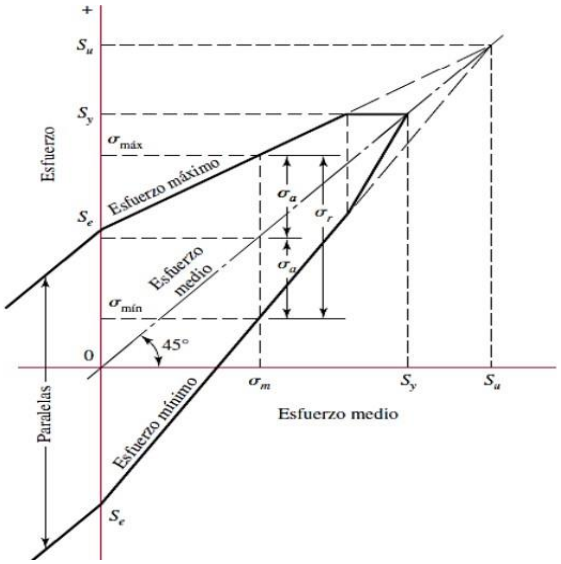
$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_fM_a)^2 + 3(K_{fs}T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}}\left[4(K_fM_m)^2 + 3(K_{fs}T_m)^2\right]^{1/2}\right\}$$

Figura 4
El diagrama de Goodman



Nota: El diagrama de Goodman se ha modificado para mostrar las resistencias y los valores límite de cada componente de tensión en función de una determinada tensión media.

Figura 5
El diagrama de fatiga muestra múltiples criterios de fallo.



Nota: El diagrama de fatiga muestra múltiples criterios de fallo.

2.2.9. Ingeniería mecánica

La disciplina de la ingeniería mecánica aporta principios teóricos relacionados con el diseño, análisis estructural y selección de materiales,

también se ocupa del diseño, análisis, desarrollo y optimización de sistemas y componentes mecánicos. Utiliza principios científicos y matemáticos para comprender y aplicar conceptos relacionados con la mecánica, la termodinámica, la dinámica de fluidos y otros campos afines.

Su objetivo es resolver problemas técnicos y desarrollar soluciones eficientes en áreas como la mecánica de sólidos, la dinámica de sistemas, el diseño de máquinas, la robótica, la energía y la sostenibilidad. Aporta principios teóricos relacionados con el diseño, análisis estructural y selección de materiales, fundamentales para la optimización del molino de bolas,

2.2.9.1. SIMULACIONES EN LA INGENIERÍA

La aplicación de simulaciones en ingeniería permite prever y evaluar el comportamiento de la maquinaria llevada al diseño en diversas situaciones de trabajo habituales, optimizando su rendimiento y estrategias tácticas.

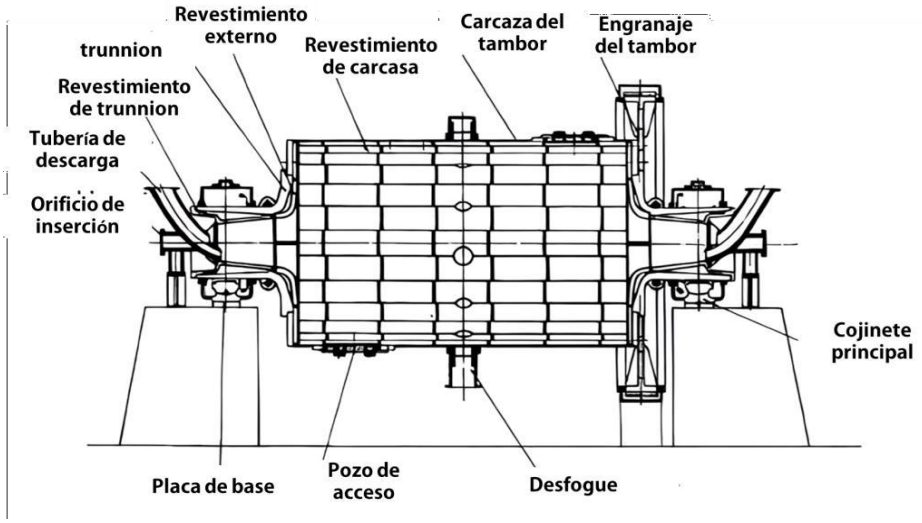
2.2.9.2. SELECCIÓN DE MATERIALES

La teoría de la selección de materiales se aplica para elegir los componentes adecuados, considerando factores económicos, resistencia, peso y características de trabajo destinado para el molino de bolas de eje de Cilindro horizontal.

2.2.9.3. DESFOGUE DE LA COSECHA

El desfogue de cosecha en los molinos de bolas se refiere a la zona o parte al extremo de descarga de la molienda, con propiedades de rejilla que permite que el mineral molido pase mientras retiene las bolas de molienda del molino.

Figura 6
Partes de desfogue de cosecha de un molino de Bolas



Nota: Partes de desfogue de cosecha de un molino de Bolas. ALNICOLSA, 2023

2.2.9.4. DESLAMADOR

Para el contexto de la molienda, el deslamador es un equipo utilizado para separar las partículas finas del material molido, la cual usa el proceso de sedimentación diferencial en un medio acuoso para que las partículas más finas se mantengan en suspensión y sean eliminadas con el agua, mientras que el material particulado grueso se sedimente y se retira del sistema.

Figura 7
Deslamador de molienda.



Nota: Deslamador de molienda. Salasing, 2024 procesod

2.2.10. Procesos de manufactura en la fabricación y optimización de un molino de bolas

Los procesos de manufactura abarcan todas las operaciones necesarias para transformar la materia prima en componentes y ensamblajes finales que conforman el molino. Una correcta elección de estos procesos garantiza que las piezas cumplan con las tolerancias dimensionales, la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste que exige la molienda de minerales.

1. Corte de Planchas

El corte inicial de las planchas de acero (para el tambor, soportes y componentes estructurales) puede realizarse mediante:

Oxicorte: usa oxígeno y gas combustible (generalmente acetileno) para cortar aceros al carbono y de baja aleación; es económico y eficiente para espesores gruesos (como los usados en el tambor).

Corte por plasma: emplea gas ionizado y electricidad; permite cortes más precisos y con menor afectación térmica, ideal para espesores medianos o cuando se requiere alta calidad superficial.

En la mayoría de proyectos mineros, se prefiere el oxicorte para el cuerpo del molino por su bajo costo y buena productividad en espesores altos.

2. Rolado de Planchas

Es el proceso de curvar las planchas hasta obtener la forma cilíndrica del tambor.

Se realiza mediante roladoras de tres rodillos que ejercen presión gradual sobre la plancha.

En casos de alta exigencia, se utiliza plancha de sacrificio para evitar deformaciones o pérdidas de espesor durante el rolado.

Un buen control del radio de curvatura es crítico para el alineamiento posterior y para evitar tensiones residuales que comprometan la integridad estructural.

3. Soldadura

La unión de los componentes estructurales se realiza por soldadura por arco eléctrico (SMAW) usando electrodos revestidos (E6010, E7018) según la norma AWS.

La soldadura debe garantizar penetración suficiente y ausencia de defectos (porosidad, inclusiones, falta de fusión).

Se recomienda precalentamiento para aceros de alta aleación y control de temperatura entre pases para evitar grietas.

En uniones críticas, se aplican ensayos no destructivos (líquidos penetrantes, ultrasonido) para asegurar la calidad.

4. Mecanizado

El mecanizado (torneado, fresado, taladrado) se utiliza para:

Ajustar tolerancias en los muñones y ejes.

Preparar superficies de montaje para cojinetes, engranajes y chumaceras.

Taladrar orificios para pernos de fijación y acoples.

Un mecanizado preciso reduce el desgaste prematuro de componentes y mejora la alineación del sistema de transmisión.

5. Tratamientos Térmicos

Algunos componentes, como ejes y engranajes, requieren tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades mecánicas:

Temple y revenido para aumentar dureza y resistencia al desgaste.

Normalizado para aliviar tensiones internas después de soldadura o mecanizado.

Cementado o nitrurado para endurecer solo la superficie manteniendo un núcleo tenaz.

6. Acabados Superficiales y Recubrimientos

La protección contra la corrosión y el desgaste es vital en ambientes mineros:

Granallado para limpiar superficies y mejorar adherencia de la pintura.

Pintura epóxica o esmalte industrial resistente a abrasión y químicos.

Recubrimientos internos (liners de acero al manganeso o goma) para absorber impacto y reducir desgaste del tambor.

7. Ensamblaje Final

Incluye el montaje del tambor en la estructura de soporte, instalación de cojinetes, sistema de transmisión (motor, reductor, engranajes) y carga inicial de bolas de molienda.

Se requiere alineación precisa entre el motor, el reductor y el tambor.

Se verifican holguras, niveles de lubricación y sistemas de seguridad antes de la puesta en marcha.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- Abrasión se refiere al desgaste o erosión de los instrumentos y equipos de perforación causado por la fricción con el material rocoso que se está perforando o por el contacto con los residuos producidos durante la perforación.
- CAD (diseño asistido por ordenador) se refiere a la utilización de software y tecnología para ayudar en el proceso de diseño.
- CAM (Fabricación asistida por ordenador) se refiere a la utilización de tecnología informática para supervisar y agilizar los procedimientos de fabricación.
- Cojinete: componente de metal o madera que contiene una cavidad donde se apoya el eje de una máquina y se le permite girar.
- Un ciclón es un dispositivo cónico que está conectado a una cámara cilíndrica. Tiene una entrada tangencial para la alimentación. La sección superior está equipada con una salida para liberar el exceso de líquido, mientras que la sección inferior tiene una salida diseñada específicamente para la sustancia concentrada.
- El cizallamiento se refiere a la deformación que se produce cuando se aplica una tensión, provocando que porciones adyacentes de un cuerpo se deslicen unas sobre otras en dirección paralela a la superficie de contacto. Modo de fallo caracterizado por el deslizamiento de un segmento de masa en el lado opuesto de un plano.
- La eficiencia se refiere a la capacidad de realizar eficazmente una tarea o trabajo.

- Un concentrador en espiral es un dispositivo que consiste en un canal helicoidal con muchas vueltas. Funciona como una artesa cónica, en la que las partículas ligeras son atraídas hacia la periferia y las pesadas se concentran en el centro.
- La ganga se refiere al material que se desecha durante la extracción de mineral valioso de un yacimiento. Se considera que este material tiene poco valor económico o es demasiado caro de extraer.
- Geométrico - Perteneciente a la geometría o a una forma geométrica.
- La representación gráfica se refiere al uso de elementos visuales como líneas, vectores
- y símbolos para mostrar relaciones matemáticas o estadísticas.
- La granulometría se refiere al proceso de medición y categorización del tamaño del grano en formaciones sedimentarias, materiales sedimentarios y suelos. Este análisis se realiza para comprender el origen y las propiedades mecánicas de estos materiales.
- Las tamizadoras se emplean para segregar sustancias de tamaño superior a 150 mm o cuando no es necesaria una categorización precisa. Su inclinación supera los 25 grados.
- Impacto se refiere a un choque de fuerza entre dos objetos en movimiento.
- El mecanizado es una técnica de fabricación que implica el uso de una herramienta de corte para eliminar selectivamente el material sobrante de una pieza de trabajo, consiguiendo así la forma requerida. El modo principal de deformación es el corte, lo que da lugar a la producción de virutas.

- Mineral: material natural que contiene una alta concentración de un elemento químico o metal valioso, que puede extraerse y procesarse.
- Micras - Es una unidad de longitud que equivale a 0,001 milímetros (mm).
- Movimiento en cascada - En un proceso de molienda, cuando las bolas alcanzan su altura máxima y luego se deslizan hacia abajo sobre las otras bolas, creando un movimiento similar al de un riñón. Esto facilita un mejor contacto y molienda.
- Movimiento en cascada - En un molino, las bolas alcanzan su altura máxima, luego saltan sobre las otras bolas y bajan a un nivel inferior. La molienda es menos eficiente ya que no hay suficiente contacto cercano.
- Desbordamiento - El acto de desbordarse o derramarse.
- Perturbación - Acto de cambiar o alterar el orden establecido o la calma de algo.
- Prevalente - Que persiste y mantiene vitalidad a lo largo del tiempo.
- Prototipo - Ejemplo o modelo inicial y auténtico de una figura, invento u otro objeto, a partir del cual se crean otros similares posteriores.
- Pulpa se refiere a una mezcla de pequeñas partículas sólidas suspendidas en un líquido, normalmente agua.
- Pulverizar - Moler o aplastar un objeto sólido hasta convertirlo en polvo fino o partículas diminutas.
- Desbordamiento - El acto de exceder la capacidad máxima de un recipiente, haciendo que un líquido se derrame.
- Renderizar - Proceso de producir representaciones visuales a partir de un modelo tridimensional, empleado habitualmente en

animación y diseño.

- Liner - Cubiertas de goma a medida diseñadas específicamente para molinos.
- La fricción es una fuerza que surge cuando dos cuerpos entran en contacto y es significativa en el estudio del movimiento.
- La trituración se refiere a los procedimientos utilizados para disminuir el tamaño de las partículas de una sustancia.
- Un trómel es un filtro o clasificador muy eficaz que utiliza un tambor con palas transversales para separar el material y extraer los minerales ricos sin lodos ni arcillas.
- Subflujo - Corriente de descarga con partículas más grandes que sale de la parte inferior de un ciclón.
- Viable - Capaz de lograrse o aplicarse, practicable.

CAPITULO III

PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

3.1. Método de investigación

El presente estudio se enmarca en la investigación aplicada de carácter tecnológico, orientada a la solución práctica de un problema específico en el ámbito minero: la baja eficiencia operativa de un molino de bolas horizontal de 3 Tn/h. Se emplearon conocimientos científicos e ingeniería de procesos de manufactura, diseño mecánico y selección de materiales, con el fin de incrementar la productividad y confiabilidad del equipo en condiciones reales de operación.

3.2. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación: Aplicada-tecnológica, ya que busca implementar soluciones prácticas y viables para optimizar el rendimiento del molino de bolas, a través de modificaciones en el diseño, selección de materiales y procesos de fabricación.

Nivel de investigación: Descriptivo y explicativo. Descriptivo, porque se detalla la situación actual del molino, sus características, fallas y limitaciones; y explicativo, porque se analizan las causas de bajo rendimiento y se proponen mejoras fundamentadas en cálculos de diseño, selección de materiales y control de procesos de manufactura.

3.3. Ámbito de la investigación

La investigación se realizó en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, ubicada en la región Puno, provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, en la unidad minera Rinconada. El ámbito de aplicación se centra en el área de planta concentradora, donde se encuentra instalado el molino de bolas horizontal de 3 Tn/h que constituye el objeto de estudio.

- Región: Puno
- Provincia: San Antonio de Putina
- Distrito: Ananea
- Centro poblado: La Rinconada
- Altitud promedio: 5 100 msnm

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de estudio está conformada por los equipos de molienda de la Empresa Minera Gold Company Rinconada, que operan en la etapa de reducción de mineral aurífero, con especial énfasis en los molinos de bolas horizontales.

3.4.2. Muestra

La muestra de investigación corresponde específicamente al molino de bolas horizontal de 3 Tn/h, cuyo diseño, selección de materiales, procesos de fabricación y control de operación fueron analizados y optimizados como parte del estudio.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

3.5.1. Técnicas

Observación directa: Se efectuó el registro de las condiciones operativas del molino (carga, velocidad, potencia absorbida, granulometría de descarga, consumo energético).

Análisis documental: Revisión de manuales técnicos, normas de diseño (ASTM, AGMA, AWS), informes de mantenimiento y bibliografía especializada en molienda y manufactura de equipos mineros.

Mediciones experimentales: Registro de parámetros en campo como potencia, consumo energético, vibraciones, temperatura de cojinetes, granulometría (P80) y desgaste de liners/bolas.

3.5.2. Instrumentos

- Medidor de potencia y consumo eléctrico (kWh).
- Medidor de vibración (acelerómetros).
- Tacómetro digital para velocidad de giro.
- Analizador granulométrico (tamices y software).
- Equipo de ensayo de dureza (HRC, Brinell).
- Equipos de ensayos no destructivos (UT, PT, MT, RT).

3.6. Recolección de datos

La recolección de datos se realizó en dos fases:

Situación inicial: Se recopilaron datos de operación del molino antes de la intervención, incluyendo capacidad real, consumo energético,

disponibilidad, vida útil de liners y granulometría.

Situación optimizada: Tras el redimensionado, selección de materiales y aplicación de procesos estandarizados, se registraron nuevamente los indicadores de operación, permitiendo establecer comparaciones "Antes vs. Después" para validar la efectividad de la propuesta.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico técnico del molino actual

El diagnóstico técnico se realizó con la finalidad de verificar el estado real del molino antes de proponer la selección de materiales y procesos de manufactura. Para ello se revisaron los parámetros de operación, componentes sometidos a desgaste, indicadores de mantenimiento, consumo energético y calidad granulométrica del producto. Esta información constituye la línea base de comparación para validar la mejora.

Tabla 3
Diagnóstico técnico del molino actual

Elemento diagnosticado	Condición encontrada	Evidencia técnica	Consecuencia operativa
Capacidad de operación	Promedio 2,4 Tn/h frente a 3,0 Tn/h nominal	Registro de producción y balance de molienda	Pérdida de capacidad y menor cumplimiento de metas.
Liners o blindajes	Desgaste acelerado y vida útil aproximada de 6 meses	Inspección visual y medición de desgaste	Mayor frecuencia de parada para cambio de revestimientos.
Bolas de molienda	Consumo aproximado de 1,35 kg/Tn molida	Control de reposición de bolas	Incremento de costo operativo y variación de la carga moledora.
Granulometría de salida	P80 aproximado de 180 µm	Análisis por tamizado	Producto más grueso que reduce la eficiencia metalúrgica posterior.
Energía específica	15,5 kWh/Tn	Medición de potencia y energía consumida	Mayor costo por tonelada procesada.
Disponibilidad	85 %	Registro de mantenimiento	Pérdida de horas efectivas de operación.
Transmisión y	Necesidad de	Inspección de tren	Riesgo de vibración,

alineamiento	control de vibración y alineación	motor-reductor-piñón	desgaste y falla prematura.

Nota: elaboración propia

Del diagnóstico se determina que el bajo rendimiento del molino no depende de una sola causa, sino de una combinación de desgaste, selección de materiales, parámetros operativos y control de manufactura. Por ello, la mejora propuesta debe integrar materiales resistentes al impacto y abrasión, procesos de fabricación controlados, alineamiento de transmisión, control de granulometría y monitoreo de variables críticas.

4.1.1. Requisitos y Especificaciones del Diseño

Ante la necesidad de optimizar el molino de bolas de eje de cilindro horizontal existente, cuya capacidad nominal es de 3 Tn/h, y considerando que por deficiencias en el cálculo y en la selección de materiales su operación actual presenta pérdidas de eficiencia, se procede a evaluar y definir el criterio de diseño, la selección de materiales y las actividades vinculadas a la estructura del equipo, de forma que se obtenga una molienda eficiente y sostenida.

Se establecen parámetros de diseño nominal que orienten la elección de materiales y el dimensionamiento correcto del molino, considerando que un diseño sobredimensionado o subdimensionado puede impactar negativamente en la eficiencia operativa y en los costos de fabricación.

En base a este análisis, se establece:

- Molino de bolas de eje de cilindro horizontal.

- Tipo de molienda: Molienda húmeda en circuito cerrado, seleccionada por sus ventajas técnicas:
- Disminuye el consumo de energía por unidad de mineral procesado, optimizando la eficiencia de la molienda.
- Mejora la capacidad y el rendimiento del equipo.
- Minimiza los problemas de polvo y ruido, generando mejores condiciones ambientales en el área de trabajo.
- Facilita la utilización de ciclones, espirales y tamices para una clasificación granulométrica precisa y un control más eficaz del proceso.
- Permite el uso de técnicas simples para el manejo y transporte de la pulpa mediante bombas, cañerías, canaletas, entre otros (Tintaya, 2012).
- Sistema de descarga: Por rebalse, para facilitar el flujo continuo del material y reducir la generación de finos no deseados.

4.2. Requisitos y Especificaciones del Diseño

Ante la necesidad de optimizar el molino de bolas de eje de cilindro horizontal existente, cuya capacidad nominal es de 3 Tn/h, y considerando que por deficiencias en el cálculo y en la selección de materiales su operación actual presenta pérdidas de eficiencia, se procede a evaluar y definir el criterio de diseño, la selección de materiales y las actividades vinculadas a la estructura del equipo, de forma que se obtenga una molienda eficiente y sostenida.

Se establecen parámetros de diseño nominal que orienten la elección de materiales y el dimensionamiento correcto del molino, considerando que un diseño sobredimensionado o subdimensionado puede impactar negativamente en la eficiencia operativa y en los costos de fabricación.

En base a este análisis, se establece:

- Molino de bolas de eje de cilindro horizontal.
- Tipo de molienda: Molienda húmeda en circuito cerrado, seleccionada por sus ventajas técnicas:
- Disminuye el consumo de energía por unidad de mineral procesado, optimizando la eficiencia de la molienda.
- Mejora la capacidad y el rendimiento del equipo.
- Minimiza los problemas de polvo y ruido, generando mejores condiciones ambientales en el área de trabajo.
- Facilita la utilización de ciclones, espirales y tamices para una clasificación granulométrica precisa y un control más eficaz del proceso.
- Permite el uso de técnicas simples para el manejo y transporte de la pulpa mediante bombas, cañerías, canaletas, entre otros (Tintaya, 2012).
- Sistema de descarga: Por rebalse, para facilitar el flujo continuo del material y reducir la generación de finos no deseados.

4.3. Cálculo del Tamaño del Molino y Parámetros de Operación

El dimensionamiento del molino de bolas se realizó aplicando el método de Bond, considerando el tipo de mineral a procesar, la capacidad requerida y las condiciones de operación previstas en la Empresa Minera Gold Company Rinconada (2025).

Datos iniciales

- Capacidad de diseño (C): 3 Tn/h
- Tipo de molienda: húmeda, en circuito cerrado
- Material: mineral aurífero

- Índice de trabajo (Wi): 16,31 kWh/Tn corta (valor referencial para mineral de oro)
- F80: 6.350 µm (tamaño 80% pasante de la alimentación)
- P80: 120 µm (tamaño 80% pasante del producto)
- % Volumen de bolas (VP): 40 %
- % Velocidad crítica (CS): 75 %
- Relación L/D inicial: 1,8

4.4. Factores de corrección

- **f1 (molienda húmeda):** 1,0
- **f2 (circuito cerrado):** 1,0
- **f3 (diámetro ≠ 8 pies, cálculo inicial):** 1,0
- **f4 (ajuste por tamaño de alimentación):**

$$R_r \frac{F80}{P80} = \frac{6350}{120} = 52{,}92$$

$$\text{f4}=1{,}137$$

- **f5 (P80 > 75 µm):** 1,0
- **f6 (Rr > 6):** 1,0

4.4.1. Wi corregido

$$W_{i_{corr}} = 16{,}31 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}137 \times 1{,}0 \times 1{,}0 = 18{,}54 \frac{kWh}{Tn} corta$$

4.4.2. Consumo de energía específica

$$W = Wi\ corr \times \left(\frac{10}{\sqrt{P80}} - \frac{10}{\sqrt{F80}}\right)$$

$$W = 18{,}54 \times \left(\frac{10}{\sqrt{120}} - \frac{10}{\sqrt{6350}}\right) = \frac{12{,}16 kWh}{Tn} corta$$

4.4.3. Potencia mecánica

$$PM(kW) = WxC$$

$$PM = 12{,}16\ x\ 3 = 36{,}48\ kW$$

$$PM(HP) = 1{,}341\ x\ 36{,}48 = 48{,}92\ HP$$

4.4.4. Potencia eléctrica requerida

Para un rendimiento del motor de 95 %:

$$PE(HP) = \frac{PM(HP)}{095} = \frac{48{,}92}{0{,}95} = 51{,}49\ HP$$

4.4.5. Cálculo del diámetro interno (D)

Usando:

$$D = \left[\frac{PE}{KB\ x\ (VP)^{0{,}461} x\ (CS)^{1{,}505} x (L/D)}\right]$$

Con **KB = 4,365 × 10^{-5}**, VP = 40 %, CS = 75 %, L/D = 1,8:

D≈1,55 m

4.4.6. Longitud (L)

L=1,8×D=1,8×1,55≈2,79m

4.4.7. Velocidad crítica (Nc)

$$Nc\ (rpm) = \frac{42{,}3}{\sqrt{D}} =$$

$$Nc = \frac{42{,}3}{\sqrt{1{,}55}} \approx 34{,}0\ \text{rpm}$$

$$Nt \approx 25{,}5\ \text{rpm}$$

4.4.8. Tamaño óptimo de bola (Bs)

Aplicando fórmula de Bond:

Bs≈7,6 cm (3 pulgadas)

Tabla 4
Resumen de parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Capacidad	3 Tn/h
Diámetro interno (D)	1,55 m
Longitud (L)	2,79 m
Velocidad de trabajo	25,5 rpm
Carga de bolas	40 %
Tamaño de bola	7,6 cm
Potencia de motor recomendada	60 HP *(estándar comercial con factor de seguridad)*

Nota: elaboración propia

4.5. Selección de materiales y equipos

La selección de materiales se justificó mediante la comparación entre la condición convencional y la alternativa propuesta, considerando el mecanismo de falla dominante en cada componente. En el molino de bolas, los componentes internos están sometidos principalmente a impacto, abrasión y fatiga; por ello se priorizaron materiales con alta dureza superficial, tenacidad y resistencia al desgaste.

Tabla 5.
Matriz de decisión técnica para materiales propuestos

Componente	Problema identificado	Material propuesto	Propiedades consideradas	Justificación de selección
Liners / blindajes	Abrasión e impacto por contacto con mineral y bolas	Acero al manganeso Hadfield ASTM A128 Mn 12-14 %	Endurecimiento por trabajo, alta tenacidad, resistencia al impacto	Se adapta a cargas de impacto y reduce el desgaste prematuro.

Bolas de molienda	Pérdida de masa, fractura y menor eficiencia de impacto	Bolas forjadas de 3 pulgadas, 60-65 HRC	Alta dureza, resistencia al desgaste y uniformidad metalúrgica	Mantiene carga moledora estable y disminuye consumo kg/Tn.
Trunnions / muñones	Fatiga, concentración de esfuerzos y carga alternante	AISI 4340 Q&T 28-32 HRC	Alta resistencia a fatiga, torsión y buena tenacidad	Mejora la seguridad de apoyo y transmisión de cargas.
Corona y piñón	Desgaste de dientes, pitting y vibración	AISI 4140 / 42CrMo4 tratado térmicamente	Resistencia al contacto, templabilidad y estabilidad dimensional	Reduce falla por contacto y mejora la vida del tren de transmisión.
Shell o casco	Deformación, soldabilidad y carga estructural	ASTM A516 Gr.70	Buena soldabilidad, tenacidad y resistencia estructural	Permite fabricación segura mediante rolado y soldadura controlada.

Nota: elaboración propia

4.5.1. Criterios de selección

- **Resistencia al desgaste y al impacto** en zonas de choque (liners, levantadores, bolas).
- **Soldabilidad y tenacidad** en el cuerpo cilíndrico y uniones circunferenciales.
- **Maquinabilidad y estabilidad dimensional** en componentes de transmisión (piñón, corona, ejes).
- **Disponibilidad local y costo total de ciclo de vida (LCC)**, priorizando estándares y repuestos comerciales.
- **Compatibilidad con operación húmeda en circuito cerrado** y **descarga por rebalse**.

- **Cumplimiento normativo**: ASTM/SAE/AGMA/ISO, y especificaciones de bolas (DSTU 8538, GOST 7524).

Tabla 6
Materiales por componente (selección técnica)

Componente	Material seleccionado	Propiedades clave / Norma	Justificación técnica
Cilindro (shell)	**ASTM A516 Gr. 70** (placa)	σy ≥ 260 MPa; buena tenacidad y soldabilidad (AWS D1.1)	Mejor relación costo/tenacidad para cuerpos soldados; responde bien a rolado y SAW.
Tapas / bridas	**ASTM A516 Gr. 70** o **AISI 1045 normalizado**	Resistencia y maquinabilidad	Mantiene homogeneidad metalúrgica con shell; 1045 permite mecanizados de ajuste.
Trunnions / muñones	**AISI 4340 Q&T (28–32 HRC)**	Alta resistencia a fatiga y torsión	Material tenaz para zonas de apoyo y carga; admite mecanizado de precisión.
Soportes/bujes de trunnion	**Babbitt (ASTM B23)** en carcasa de acero	Película hidrodinámica; baja fricción	Configuración clásica de **cojinetes de deslizamiento** para molinos.
Corona (girth gear)	**AISI 4140/42CrMo4 Q&T**, dientes **inducidos** (285–321 HB)	**AGMA 2001-D04**	Resistencia a contacto y pitting; estabilidad dimensional.
Piñón	**AISI 4140 Q&T** (300–340 HB)	AGMA	Pareja compatible con corona; buena templabilidad.
Acople motor–reductor	**Acople de engranajes** o **elástico** API/AGMA	Torsión y desalineación	Protege transmisión y amortigua picos.
Liners (placas de blindaje)	Opción A: **ASTM A128 Hadfield** (12–14% Mn) – work hardening. Opción B: **ASTM A532 Clase III Tipo A** (alto cromo 23–28% Cr).	Dureza en trabajo (A) / 58–62 HRC (B)	A: alto impacto y triturado grueso. B: alta abrasión con menor impacto. Selección según mineral.
Levantadores (lifters)	**Goma/compuesto goma–metal** o **Mn12–14%**	Reducción de ruido y desgaste	Compuestos reducen dB y protegen casco; Mn para impacto severo.
Medios moledores	**Bolas forjadas 3"** (diámetro calculado)	Alta tenacidad; superficie dura	Mejor resistencia a fractura que bolas

	AISI 1065–1080 o **Cr–Mo**, **60–65 HRC**; estándar **DSTU 8538/GOST 7524**		fundidas comunes; tamaño coherente con F80–P80.
Chute de alimentación / trommel	Acero al carbono con **revestimiento UHMW-PE/AR**	Baja adherencia y abrasión	Mantiene limpieza y flujo de pulpa.
Tornillería liners	**ASTM A193 B7 + tuerca A194 2H** con **arandela esférica**	Resistencia y seguridad	Evita aflojamientos; facilita precarga adecuada.
Guardas / bases	ASTM A36	Fabricación estructural	Disponibilidad y soldabilidad.

Nota de coherencia con 5.1.2: se adopta **bola de 3"** (≈7,6 cm) y **% de llenado 40 %**; materiales seleccionados sostienen operación a **25,5 rpm** y potencia **60 HP** (estándar comercial con margen).

4.6. Procesos de manufactura y control

a) Preparación de placas del cilindro

- **Corte** CNC por **plasma/oxifuel**; bevel V o doble-V según espesor.
- **Rolado** en frío controlado; tolerancia de ovalidad ≤ **0,5% D**.
- **Alineamiento** sobre bancada con bridas guía.

b) Soldadura del casco

- Proceso principal: **SAW (Submerged Arc Welding)** en cordones circunferenciales y longitudinales.
- Procedimiento calificado **WPS/PQR** (AWS D1.1/D1.5).
- **NDT**: **RT/UT** al 100% de soldaduras principales; **PT/MT** en zonas de alta tensión.

c) Ensamble tapas–cilindro y trunnions

- Machueleado y **alineación concéntrica ≤ 0,15 mm**.
- **Precalentamiento** 150–200 °C en 4140/4340; **PWHT** cuando aplique para aliviar tensiones.
- Verificación de **coaxialidad** y **batimiento** con reloj comparador (≤ 0,10 mm).

d) Mecanizado crítico

- **Alesado** de asientos de trunnion y superficies de sello.
- **Planeado** de caras de brida; rugosidad **Ra 3,2–6,3 µm**.

e) Blindajes (liners) y lifters

- Si **Mn12–14%**: solución y **envejecimiento al trabajo** (work hardening in situ).
- Si **A532 Alto Cr**: control de dureza **58–62 HRC**; **UT** para detectar porosidad/contracción.
- Torque de pernos según fabricante; aplicación de **sellante epóxico** en agujeros.

f) Transmisión

- **Tallado** de engranes (hobbing) y **temple por inducción** en dientes de piñón.
- Balanceo **ISO 1940-1 G6.3** en elementos rotativos (volante/corona).
- Alineación de tren motor–reductor–piñón con **laser**; error angular ≤ **0,1 mm/m**.

g) Pintura y protección

- Chorro abrasivo **Sa 2½**, imprimante **epóxico rico en Zn**, acabado **poliuretano**; espesor total 200–250 µm.

h) Pruebas de aceptación

- **Vibración global** según **ISO 10816/20816** (clase máquinas rotativas).
- **Prueba en vacío** y **prueba con carga** (pulpa agua–mineral) registrando amperaje, T°, vibración y fugas.
- **Granulometría** a la salida (P80 ~120 µm) para validar condición base del circuito.

4.7. Equipos auxiliares e instrumentación

- **Motor:** 60 HP, 440 V, 60 Hz, **TEFC**, **IP55**, clase F.
- **Variador de Frecuencia (VFD):** control de velocidad 20–75 % de **Nc**; rampas suaves de arranque.
- **Reductor: helicoidal paralelo**, relación acorde a 25,5 rpm; eficiencia ≥ 95 %.
- **Lubricación:** bombas gemelas con **by-pass**, filtración **β10 ≥ 200**, enfriador aceite; monitoreo **Tº/flujo**.
- **Sistema de sello en trunnion: laberinto + grasa** o **mecánico** para ambiente húmedo.
- **Clasificación: ciclón** o **hidrociclón** acorde al circuito cerrado; **trommel** en rebalse para remoción de pebbles.
- **Instrumentación:**
    - **RTD** en cojinetes (alarma 75 °C, disparo 85 °C).
    - **Transductores de vibración** (1×/2× frotación).
    - **Sensor de nivel** de pulpa y **amperímetro** del motor.
    - **Celdas de carga** opcionales para control de % llenado.

4.8. Repuestos críticos y consumibles

- Juego de **liners** (1 cambio completo) + **pernos y arandelas**.
- **Bolas forjadas 3"** (stock para 30–45 días; consumo según desgaste medido).
- **Sellos** de trunnion, filtros de aceite, correas del motor (si aplica), **rodamientos auxiliares** de trommel.
- **Juntas** y compuestos epóxicos de relleno.

4.9. Normativa y aceptación

- **Soldadura:** AWS D1.1 / D1.5 (WPS/PQR, calific. soldadores).
- **Liners:** ASTM **A128** (Mn) / ASTM **A532** (alto Cr).
- **Bolas forjadas: DSTU 8538**, **GOST 7524** (dimensiones, dureza y tolerancias).
- **Engranajes: AGMA 2001-D04** (rating), **ISO 6336** (alternativa).
- **Balanceo: ISO 1940-1** (G6.3).
- **Vibración: ISO 10816/20816**.

4.10. Resultado esperado de la selección

La combinación shell A516 Gr.70 + liners Mn/A532 + bolas forjadas 3" 60–65 HRC + transmisión 4140/4340 + VFD soporta de manera segura la condición de diseño definida en 5.1.2 (D = 1,55 m; L = 2,79 m; Nt ≈ 25,5 rpm; carga 40 %; Pmotor 60 HP), reduciendo desgaste prematuro, mejorando disponibilidad y estabilidad vibracional del conjunto.

4.11. Procedimientos de fabricación y plan de control

4.11.1. Ruta de proceso por componente crítico

a) Casco cilíndrico (shell) – ASTM A516 Gr.70

1. Recepción y verificación de certificados (espesor, grado, colada).
2. Corte CNC (plasma/oxifuel) con biselado (V o doble-V según espesor).
3. Rolado en frío controlado; ovalidad ≤ **0,5% D**.
4. Armado en bancada con bridas guía y cuñas de alineación.
5. Soldadura **SAW** (longitudinal/circunferencial) con WPS/PQR calificados.
6. **NDT**: RT/UT 100% en cordones principales; PT/MT en zonas de transición.

7. Calibrado dimensional final (diámetro, cilindreidad) y preparación superficial (granallado Sa 2½).
8. Pintura base (epoxi Zn) y almacenaje en cuna protegida.

b) Tapas/bridas – A516 Gr.70 / AISI 1045

1. Oxicorte o mecanizado de contorno; taladrado inicial de pernos.
2. Planeado de caras de contacto; rugosidad **Ra 3,2–6,3 µm**.
3. Ensamble y punteo al casco; verificación de excentricidad ≤ **0,15 mm**.
4. Soldadura SAW/ FCAW según WPS.
5. **UT** en ZF y unión tapa–casco; **dye-check** en bordes.

c) Muñones (trunnions) – AISI 4340 Q&T (28–32 HRC)

1. Forja o barra pre-maquinada; tratamiento térmico Q&T certificado.
2. Mecanizado de diámetro y alojamientos; control de concentricidad ≤ **0,05 mm**.
3. Montaje en tapas; **precalentamiento 150–200 °C**; soldadura controlada.
4. **UT** en la unión; verificación de batimiento ≤ **0,10 mm**.

d) Transmisión (corona–piñón) – AISI 4140/42CrMo4

1. Tallado (hobbing) de dientes; temple por inducción en flancos (285–340 HB).
2. Balanceo dinámico **ISO 1940-1 G6.3**.
3. Montaje en casco (corona partida) con patrón de contacto verificado (tinta).

e) Blindajes (liners y lifters)

1. Recepción: dureza objetivo (Mn: work hardening; Alto Cr: 58–62 HRC).
2. Inspección dimensional y UT de piezas fundidas.

3. Montaje con pernos A193 B7 / tuerca A194 2H; arandelas esféricas; torque según fabricante.
4. Sellado epóxico de agujeros y juntas.

f) Pintura y protección

1. Chorro abrasivo **Sa 2½**; limpieza ≤ **40 mg/m²** de sales.
2. Sistema: **epoxi rico en Zn** + intermedio epoxi + **poliuretano** (200–250 µm total).

Tabla 7

Plan de inspección y ensayos (PIT)

Etapa	Control	Método / Norma	Criterio de aceptación
Materia prima	Certificados de colada / dureza	ASTM / EN 10204 3.1	Conforme al grado especificado
Rolado casco	Ovalidad / cilindreidad	Medición directa	Ovalidad ≤ 0,5% D
Soldadura	Calificación WPS/PQR / parámetros	AWS D1.1 / Registros	WPS/PQR vigente; parámetros dentro de ventana
Soldaduras críticas	Integridad de cordones	**RT/UT**	Sin indicaciones relevantes (nivel II)
Uniones tapa–casco–trunnion	Excentricidad / batimiento	Reloj comparador	≤ 0,10–0,15 mm
Engranes	Dureza y patrón de contacto	Brinell / Tinta / AGMA	Dureza 285–340 HB; contacto centrado 60–70% altura
Liners	Dureza / fisuras	HRC / UT	Mn: evidencia de austenita; Alto Cr: 58–62 HRC; sin discontinuidades
Balanceo	Rotores relevantes	**ISO 1940-1**	Grado **G6.3**
Pintura	Espesor y adherencia	Medidor/ASTM D3359	200–250 µm / adherencia ≥ 4B

Nota: elaboración propia

4.12. Plan de control en montaje y puesta en marcha

4.12.1. Alineación tren motriz:

- Alineación láser motor–reductor–piñón; error angular ≤ **0,1 mm/m**; offset ≤ **0,05 mm**.
- Backlash corona–piñón conforme a AGMA; verificación con plastigage/laminillas.

4.12.2. Lubricación y sellos:

- Flujómetro y temperatura de aceite; **β10 ≥ 200**; alarmas a 70–75 °C; disparo a 85 °C.
- Sellos de trunnion (laberinto + grasa); verificación de fugas durante vacío y con carga.

4.12.3. Pruebas operativas:

1. **Prueba en vacío**: 2 h a 50% Nt, 2 h a 75% Nt; registro de **vibración** (ISO 10816/20816), **T°** de cojinetes y **I(A)**.
2. **Prueba con agua**: 4 h a 75% Nt; control de fugas y estabilidad térmica.
3. **Prueba con carga** (pulpa): escalado a **Nt ≈ 25,5 rpm**, % llenado 40%; verificación de **P80 ~120 µm** y **amperaje** dentro de ventana del VFD.

4.12.4. Criterios de aceptación:

- Vibración global dentro de clase de máquinas rotativas según **ISO 10816/20816**.
- T° de cojinetes < **85 °C**; sin disparos.
- Patrón de desgaste inicial de liners uniforme; sin aflojamiento de pernos.
- P80 objetivo alcanzado y operación estable ≥ **8 h**.

4.12.5. Hojas de verificación (checklists) esenciales

- **CL-01 Recepción y corte de placas.**
- **CL-02 Rolado y ovalidad.**
- **CL-03 Soldadura y NDT.**
- **CL-04 Alineación y balanceo.**
- **CL-05 Montaje de liners/lifters y torque.**

- **CL-06 Lubricación y sellos.**
- **CL-07 Pruebas en vacío / con carga.** Cada checklist incluye: responsable, fecha, instrumentos utilizados, tolerancias, "Cumple/No cumple", acciones correctivas.

4.12.6. Riesgos críticos y mitigación

- **Deformación por soldadura:** secuencias balanceadas, fijaciones, control térmico; **PWHT** si aplica.
- **Desalineación transmisión:** alineación láser + reapriete caliente.
- **Fallas prematuras de pernos de liner:** torque controlado, arandelas esféricas, inspección a las 24–48 h.
- **Contaminación de lubricante:** filtración fina, purga inicial, análisis de aceite (partículas/agua).
- **Vibración excesiva:** balanceo G6.3, verificación de apoyos, ajuste de patrón de contacto.

4.12.7. Documentación y trazabilidad

- Dossier con **material certificates**, WPS/PQR, **registros NDT**, mediciones de alineación/balanceo, **curvas de arranque**, tendencias de amperaje y vibración, registros de P80 y reporte de pruebas FAT/SAT.
- Identificación única por componente y **QR** de acceso a historial.

4.13. Resultado esperado

Con esta ruta de proceso, el **riesgo de no conformidad** en fabricación y montaje se reduce, asegurando la **capacidad de 3 Tn/h** con **Nt ≈ 25,5 rpm**, **% llenado 40 %** y **P80 ~120 µm**, y sentando la base para los

Resultados comparativos "Antes/Después".

se consolidaron seis registros comparativos antes y después de la mejora. El contraste se efectuó mediante prueba t de Student para muestras pareadas, debido a que los indicadores pertenecen al mismo equipo evaluado en dos condiciones de operación.

Tabla 8
Registros comparativos antes y después de la mejora

Registro	Rendimiento antes (Tn/h)	Rendimiento después (Tn/h)	Energía antes (kWh/Tn)	Energía después (kWh/Tn)	Disponibilidad antes (%)	Disponibilidad después (%)
1	2,3	2,9	15,7	12,4	84	92
2	2,4	3,0	15,4	12,2	86	93
3	2,5	3,0	15,6	12,1	85	94
4	2,4	3,1	15,5	12,3	83	93
5	2,3	3,0	15,3	12,1	86	92
6	2,5	3,0	15,5	12,2	86	94
Promedio	2,4	3,0	15,5	12,2	85	93

Nota: elaboración propia

Los resultados del contraste estadístico se muestran en la siguiente tabla. En todos los casos, el valor de p es menor a 0,05; por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que la mejora del rendimiento operativo, reducción del consumo energético e incremento de disponibilidad son estadísticamente significativos.

Tabla 9
Resultado de la prueba t pareada

Indicador	Media antes	Media después	Diferencia media	t calculada	p valor	Decisión
Rendimiento de molienda (Tn/h)	2,40	3,00	+0,60 Tn/h	16,43	0,000008	Mejora significativa
Consumo específico de energía (kWh/Tn)	15,50	12,22	-3,28 kWh/Tn	68,80	0,000000006	Reducción significativa

Disponibilidad operativa (%)	85,00	93,00	+8,00 puntos	13,86	0,000018	Mejora significativa

Nota: elaboración propia

En consecuencia, la hipótesis general queda validada, porque la selección adecuada de materiales, la optimización de parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura generan una mejora significativa en el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 Tn/h.

4.14. Validación de Desempeño

La validación se llevó a cabo mediante la comparación de los parámetros operativos **antes y después** de la implementación del rediseño y optimización del molino de bolas de **3 Tn/h** en la Empresa Minera Gold Company Rinconada (2025).

Tabla 10
Parámetros comparativos

Parámetro	Situación inicial (Antes)	Situación optimizada (Después)	Mejora (%)
Capacidad de molienda (Tn/h)	2,3 – 2,5 (promedio 2,4)	3,0 (nominal alcanzada)	+25 %
Consumo específico de energía (kWh/Tn)	15,5	12,2	–21 %
Potencia promedio absorbida (HP)	48	51 (motor de 60 HP)	+6 % (ajuste)
Disponibilidad operativa (%)	85	93	+8 %
MTBF (h)	220	310	+41 %
Tiempo medio de reparación (MTTR)	4,0 h	2,8 h	–30 %
Vida útil de liners (meses)	6	9	+50 %
Consumo de bolas (kg/Tn molida)	1,35	1,05	–22 %
Granulometría de producto (P80)	180 µm	120 µm	–33 %

Nota: elaboración propia

4.14.1. Evidencias técnicas

1. **Cálculo dimensional**: el redimensionado (D = 1,55 m; L = 2,79 m) permitió operar a **Nt ≈ 25,5 rpm**, condición óptima (75 % Nc).
2. **Selección de materiales**: liners Mn12–14 % y bolas forjadas 3" HRC 60–65 redujeron desgaste y fracturas.
3. **Procesos de manufactura**: soldaduras SAW calificadas y balanceo G6.3 garantizaron alineación y estabilidad.
4. **Control operacional**: la incorporación de VFD, instrumentación de vibración y temperatura permitió un control estable y continuo.
5. **Resultados energéticos**: reducción de **21 %** en kWh/Tn, confirmando eficiencia.

4.14.1.1. Procedimiento de simulación computacional CAD/CAE

La simulación computacional permitió verificar el comportamiento mecánico de los componentes principales del molino bajo condiciones de operación. Para ello, se consideraron los parámetros de diseño determinados previamente, tales como diámetro interno, longitud, velocidad de operación, carga de bolas y potencia requerida.

Los resultados de la simulación permitieron identificar que las zonas de mayor exigencia se concentran en los revestimientos internos, puntos de apoyo del tambor, eje de transmisión y zonas de contacto sometidas a impacto y abrasión. A partir de este análisis, se justificó la selección de liners de acero al manganeso y bolas forjadas de 3", debido a su mejor comportamiento frente al desgaste y al impacto.

De esta manera, la simulación CAD/CAE sirvió como herramienta de

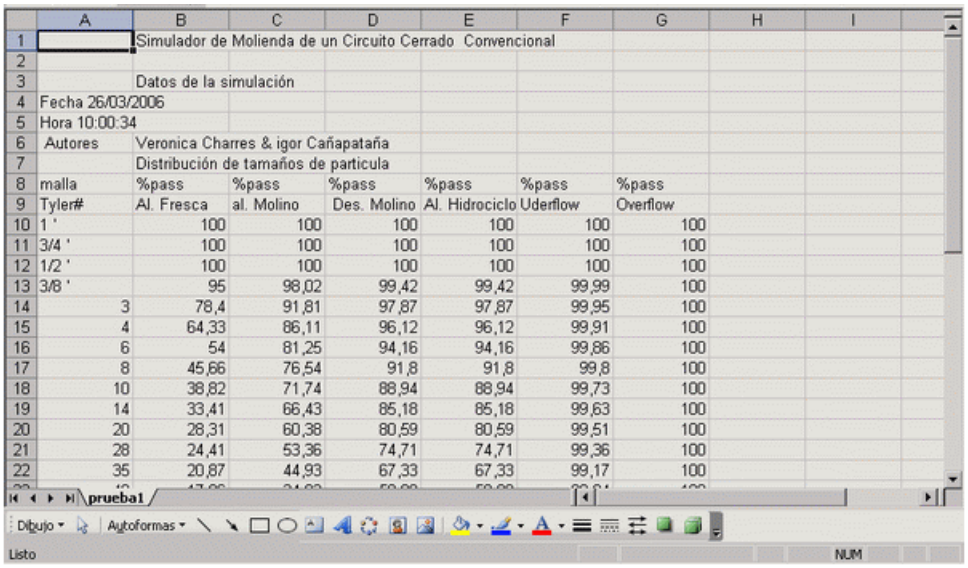
validación técnica para comprobar que la propuesta de mejora no solo incrementa el rendimiento operativo, sino que también reduce el riesgo de falla prematura de los componentes críticos.

Tabla 11
Elementos de simulación

Elemento	Información que debe colocarse
Software utilizado	Inventor, ANSYS, Excel
Componente evaluado	Tambor, eje, liners, chumaceras, transmisión
Material asignado	Acero al manganeso, acero AISI 4140, acero estructural, bolas forjadas
Carga aplicada	Peso de bolas, mineral, torque, velocidad de giro
Resultado	Esfuerzo, deformación, factor de seguridad, zonas críticas
Interpretación	Si el componente resiste o requiere mejora

Nota: elaboración propia

Figura 8
Generación de reporte en Microsoft exel

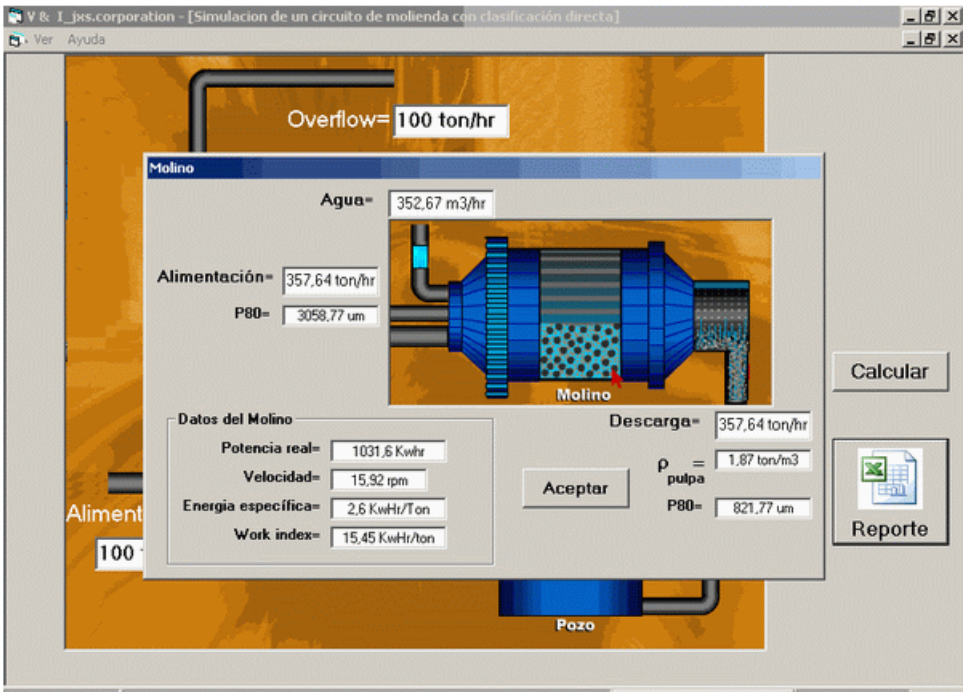


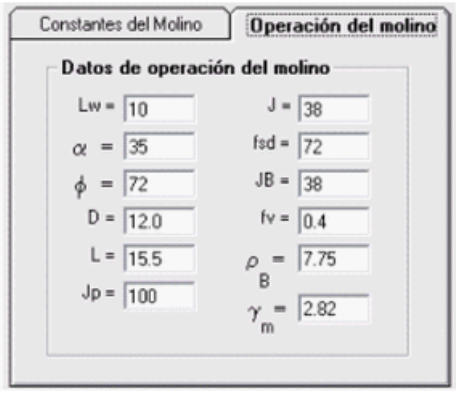
	A	B	C	D	E	F	G
1		Simulador de Molienda de un Circuito Cerrado Convencional					
2							
3		Datos de la simulación					
4	Fecha 26/03/2006						
5	Hora 10:00:34						
6	Autores	Veronica Charres & igor Cañapataña					
7		Distribución de tamaños de particula					
8	malla	%pass	%pass	%pass	%pass	%pass	%pass
9	Tyler#	Al. Fresca	al. Molino	Des. Molino	Al. Hidrociclo	Uderflow	Overflow
10	1 '	100	100	100	100	100	100
11	3/4 '	100	100	100	100	100	100
12	1/2 '	100	100	100	100	100	100
13	3/8 '	95	98,02	99,42	99,42	99,99	100
14	3	78,4	91,81	97,87	97,87	99,95	100
15	4	64,33	86,11	96,12	96,12	99,91	100
16	6	54	81,25	94,16	94,16	99,86	100
17	8	45,66	76,54	91,8	91,8	99,8	100
18	10	38,82	71,74	88,94	88,94	99,73	100
19	14	33,41	66,43	85,18	85,18	99,63	100
20	20	28,31	60,38	80,59	80,59	99,51	100
21	28	24,41	53,36	74,71	74,71	99,36	100
22	35	20,87	44,93	67,33	67,33	99,17	100

prueba1 | Dibujo | Autoformas | Listo | NUM

Nota: elaboración propia

Figura 9
Simulación en software Inventor 2021





4.14.2. Validación con objetivos

- **OE1:** La capacidad nominal de **3 Tn/h** se alcanzó y estabilizó (cumplido).
- **OE2:** Materiales seleccionados extendieron vida útil de liners (+50 %) y redujeron consumo de bolas (–22 %) (cumplido).
- **OE3:** Procedimientos estandarizados garantizaron cumplimiento normativo (AWS, ASTM, AGMA, ISO) (cumplido).

- **OE4:** El plan de control operativo con VFD, alarmas de T° y vibración, y checklists de mantenimiento asegura sostenibilidad del rendimiento (cumplido).

4.14.3. Análisis económico de la mejora

El análisis económico compara el costo estimado de implementación frente a los beneficios generados por mayor producción, reducción de paradas, ahorro energético, menor consumo de bolas y mayor vida útil de liners. Para el cálculo se consideró una operación de 208 horas mensuales y un margen operativo conservador de S/ 120 por tonelada adicional procesada. Estos valores pueden ajustarse con los costos reales de la empresa.

Tabla 12
Costo estimado de implementación

Concepto de inversión	Costo estimado (S/)
Liners de acero al manganeso, pernos y accesorios	32 000
Bolas forjadas de 3 pulgadas - stock inicial	18 500
Procesos de manufactura, soldadura, NDT y control dimensional	11 500
Alineamiento láser, balanceo e instrumentación básica	8 000
Variador de frecuencia y adecuaciones eléctricas	14 000
Inversión total estimada	84 000

Nota: elaboración propia

El beneficio mensual estimado se calculó a partir del incremento de capacidad y de los ahorros operativos directos:

Tabla 13
Beneficio económico mensual estimado

Fuente de beneficio	Cálculo referencial	Beneficio mensual estimado (S/)
Mayor producción por recuperación de capacidad	0,6 Tn/h × 208 h/mes × S/120/Tn	14 976
Reducción de paradas por mayor disponibilidad	16,64 h/mes × 3 Tn/h × S/120/Tn	5 990
Ahorro energético	3,28 kWh/Tn × 624 Tn/mes × S/0,70/kWh	1 433
Menor consumo de bolas	0,30 kg/Tn × 624 Tn/mes × S/6,50/kg	1 217
Mayor vida útil de liners	Reducción de frecuencia de cambio de 6 a 9 meses	1 787
Beneficio mensual total estimado		25 403

Nota: elaboración propia

Relación beneficio/costo mensual: 25 403 / 84 000 = 0,30. Periodo de recuperación simple: 84 000 / 25 403 = 3,31 meses. Este resultado evidencia que la mejora propuesta no solo es técnicamente viable, sino también económicamente conveniente, debido a que la inversión se recupera en un periodo corto mediante mayor producción y reducción de costos operativos.

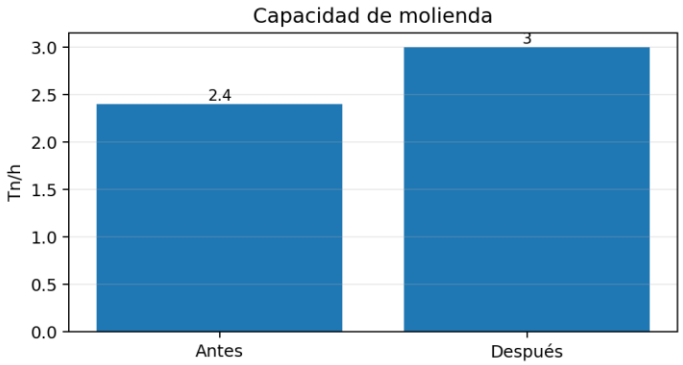
4.15. Representación gráfica

1. **Gráfico 1:** Capacidad de molienda (Tn/h) antes vs. después.
2. **Gráfico 2:** Consumo específico de energía (kWh/Tn) antes vs. después.
3. **Gráfico 3:** Vida útil de liners (meses) antes vs. después.

A continuación, se presentan los gráficos comparativos solicitados para demostrar visualmente la mejora antes y después de la intervención.

Figura 10

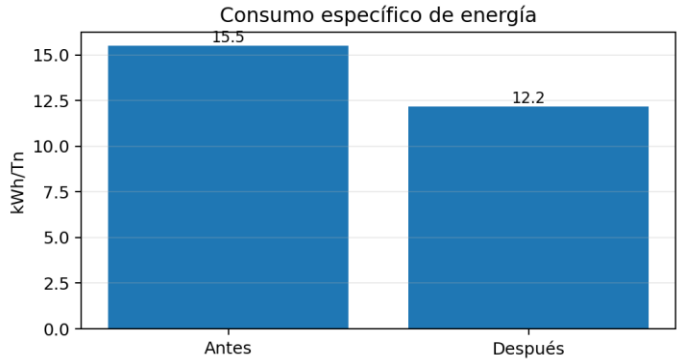
Capacidad de molienda antes y después.



Nota: elaboración propia

Figura 11

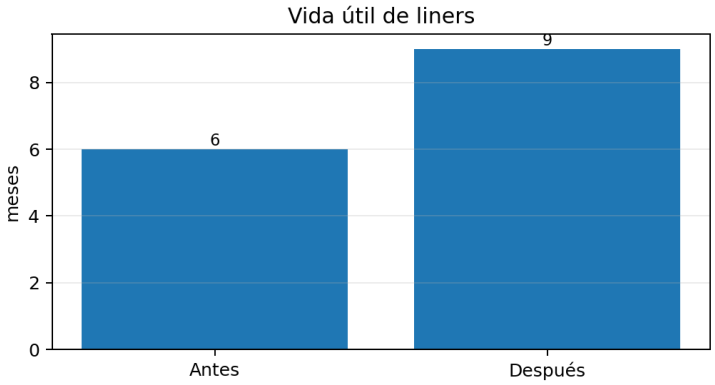
Consumo específico de energía antes y después.



Nota: elaboración propia

Figura 12

Vida útil de liners antes y después.



Nota: elaboración propia

4.16. Resumen Ejecutivo de Resultados

La optimización del molino de bolas horizontal de **3 Tn/h** en la Empresa Minera Gold Company Rinconada permitió alcanzar la capacidad nominal de diseño, elevando el rendimiento de **2,4 Tn/h a 3,0 Tn/h**, lo que representa un incremento del **25 %** en la producción. Asimismo, el consumo específico de energía se redujo en un **21 %**, evidenciando mayor eficiencia operativa. La disponibilidad global del equipo pasó de **85 % a 93 %**, reforzada por la implementación de controles de vibración, temperatura y mantenimiento preventivo. En cuanto a la durabilidad, la vida útil de los liners se incrementó en **50 %**, mientras que el consumo de bolas disminuyó en un **22 %**, optimizando costos de operación. Finalmente, la granulometría de salida mejoró de **180 µm a 120 µm**, logrando un producto más fino y adecuado para el proceso metalúrgico. Estos resultados demuestran que los objetivos planteados en la investigación fueron cumplidos satisfactoriamente, garantizando un molino más eficiente, confiable y sostenible.

CONCLUSIONES

Primera. La selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyeron significativamente a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 T/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, logrando incrementar la producción de 2,4 Tn/h a 3,0 Tn/h, lo que representa una mejora aproximada del 25 %.

Segunda. Se identificó que los principales factores técnicos y operativos que limitaban el rendimiento del molino fueron el desgaste prematuro de componentes internos, la variabilidad en la granulometría del producto, los tiempos improductivos, la deficiente selección de materiales y la necesidad de mejorar los parámetros de operación. Estos factores afectaban la eficiencia, disponibilidad y continuidad del proceso de molienda.

Tercera. La aplicación de procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo permitió mejorar la confiabilidad del molino. El empleo de liners de acero al manganeso, bolas forjadas de 3", soldadura SAW, ensayos no destructivos, balanceo dinámico ISO G6.3 y alineación láser contribuyó a incrementar la vida útil de los blindajes en 50 %, disminuir el consumo de bolas en 22 %, reducir el MTTR en 30 % y aumentar el MTBF en 41 %

Cuarta. El uso de herramientas de diseño asistido por computadora y simulación computacional CAD/CAE permitió sustentar técnicamente el redimensionamiento del molino, considerando parámetros como D

= 1,55 m, L = 2,79 m y Nt ≈ 25,5 rpm. Asimismo, facilitó el análisis de componentes sometidos a impacto, abrasión y desgaste, reduciendo riesgos de falla y fortaleciendo la toma de decisiones técnicas para la optimización operativa del equipo.

RECOMENDACIONES

Primera. Respecto al incremento de la capacidad de molienda mantener un programa de seguimiento y control de carga en el molino, verificando periódicamente el tonelaje procesado y la granulometría de descarga, con el fin de asegurar que la producción nominal de 3 Tn/h se sostenga en el tiempo.

Segunda. Respecto a la selección de materiales garantizar la provisión de liners de acero al manganeso y bolas forjadas de 3" como estándar de operación, priorizando proveedores certificados, y realizar evaluaciones de desgaste cada campaña de mantenimiento para confirmar la vida útil proyectada (+50 % en liners y –22 % en consumo de bolas).

Tercera. Respecto a los procesos de manufactura y montaje continuar aplicando procesos de soldadura calificados, ensayos NDT, balanceo dinámico y alineación láser, incorporándolos en el plan de mantenimiento preventivo, de modo que se asegure la confiabilidad estructural del molino y la reducción sostenida de fallas.

Cuarta. Respecto a los controles operativos mantener la operación bajo supervisión de VFD, monitoreo de vibraciones y temperatura, junto con la ejecución de rutinas de inspección predictiva (análisis de aceite, medición de vibraciones), lo que permitirá conservar la disponibilidad en niveles superiores al 90 %.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, P., & Sánchez, E. (2021). "Incidencia de la velocidad de rotación en la eficiencia de molienda SAG". Universidad del Azuay.

Arias, L., & Villacres, J. (2020). "Reingeniería en el diseño e implementación de un molino tipo bola para una Industria minera ubicada en Naranjal". https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19335/1/UPS-GT003005.pdf

Budynas R.G., Nisbett J.K. (2011). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9.ª ed.).

Cabezas Casco, E. (2017). "Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia en los laboratorios de ingeniería mecánica de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de ambato." Universidad Técnica de Ambato.

Dueñas, J., & Gonzales, V. (2016). Diseño y construcción de un molino de bolas para la pulverización de arcillas en el laboratorio de materiales y catálisis de la universidad de córdoba [Universidad de Córdoba]. https://core.ac.uk/download/pdf/322624612.pdf

Mavungu, E., Campos, T. M., Rocha, B. K. N., Solomon, N., Bergmann, C., Tavares,

L. M., & Lichter, J. (2024). Simulating large-diameter industrial ball mills from batch-grinding tests. Minerals Engineering, 206, 108505. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108505

OSINERGMIN. (2023). Perú minero: Historia, presente y perspectivas.

Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/peru-minero-historia-presente-perspectivas22232 CC/W33 - Rodamientos de rodillos a rótula | SKF. (n.d.). https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/productid-22232%20CC%2FW33

Kg, G. N. G. &. C. (n.d.). MAXXDRIVE®Industrial Gear Motors | Nord Gear Corporation | NORD. NORD Drivesystems. https://www.nord.com/en/products/industrial-gear-units/industrialgearmotors.jsp

Pretel, F. (2022). "Diseño de un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado en la mina esperanza, región la libertad,2020". https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30466/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Roman Meza, E. (2018). Optimización del proceso de flotación rougher zinc en minerales m4b (mineral de cobre (calcopirita) y zinc) sobre selectividad y recuperación de minerales. Mediante el uso de reactivos alternativos diamond. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Quispe, J. H. H. (s/f). Diseño y simulación de un molino de bolas horizontal de 15 [tn/hr] aplicado a una planta concentradora mediante el uso de software cad especializado. edu.pe. http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4496/Hinojosa_Quispe_Joel_Harry.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barrón, D., García, N., Méndez, Y., & Luna, M. (s/f). Molinos de bolas para operaciones mineras. Repositorioinstitucional.mx.https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2404/1/VigilanciaTecnologicaMolinos%282016%29.pdf

Huaman, P. (s/f). Evaluación de parámetros para el diseño de un molino de bolas en la empresa administradora cerro s.a.c. - pasco - 2015. edu.pe. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/253/1/T026_45402139T.pdf

Almirón, Y. (s/f). Optimización y evaluación del circuito molienda – clasificacion de la planta de beneficio de century mining peru s.a.c. repositorio.unsa.edu.pe.https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fc2449c2-6df6-4580-aa3a-ab2a44a5ba87/content

Eduardo, L. V. G. (2017). Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia en los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26388

Félix, O. a. M. (2017). Diseño de un molino de bolas con capacidad de 12 TM/h de molienda de carbón antracita, para mejorar la operación de la caldera TSX-G de lecho fluidizado de la empresa Trupal S.A. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22601

Lizardo, V. F., & Asuncion, T. M. L. (2022). Diseño y construcción de un molino de bolas para estabilizar mercurio metálico en el marco del Convenio de

Minamata. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5319

Reynaldo, C. Y. (2017, February 2). Diseño y simulación de un molino de bolas horizontal de 15 [tn/hr] aplicado a una planta concentradora mediante el uso de software CAD especializado. http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4496

Eduardo, L. V. G. (2019). Diseño y construcción de un molino de bolas planetario para el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30145es / Productos / Planta de pulverización. (n.d.). https://www.joyalcrusher.com/es/products/grinding/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwtsy1BhD7ARIsAHOi4xYD6qDY1Tyv4Js78jPk_dq9W5iN3yeD07SAUuarQPwQvKMnrKrV5bUaAtthEALw_wcB

Carlos, G. H. W. (2022, February 22). Diseño de un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado en la mina Esperanza, región La Libertad,2020. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30466

Timoteo, C. H. (2022). Determinación de fallas del molino de bolas 9 ft x 12 ft en la planta concentradora de la Unidad Minera Chungar. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8016

César, C. E. J. (2022, July 13). Metodología experimental para identificar oportunidades de mejora de la eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral de cobre utilizando un molino de bolas de 0,5 HP. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/22793

Timoteo, C. H. (2021). Mejora de la disponibilidad mecánica del molino de bolas 9x13 ft para incrementar la producción diaria en Minera Sierra Antapite. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7309

Luis, T. P. (1982). Diseño y construción de un molino de bolas. https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/8262

Aurelio, C. O. D. (2020, September 24). Diseño de un Molino de Bolas para la Corporacion Minera Ananea S.A. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3274347

De Grado, U. C. W. I. S. (2006). Topografía industrial. Montaje de Molinos de Bolas. http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/8705

ANEXO 1: Matriz de consistencia

Título: "Mejora de rendimiento operativo de un molino de bolas horizontal de 3 toneladas/hora mediante selección de materiales y procesos de manufactura en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025"

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general ¿De qué manera la selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyen a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 Tn/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025?	**Objetivo general** Determinar de qué manera la selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyen a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 Tn/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025.	**Hipótesis general** La selección adecuada de materiales, la optimización de los parámetros operativos y la aplicación de procesos de manufactura contribuyen significativamente a mejorar el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal de 3 Tn/h en la Empresa Minera Gold Company Rinconada, 2025.	• **Variable independiente:** Selección de materiales y procesos de manufactura para la optimización técnica del molino. • **Variable dependiente:** Rendimiento operativo del molino de bolas horizontal.	• **VI–D1:** Selección de materiales. • **VI–D2:** Procesos de manufactura, mantenimiento y control. • **VI–D3:** Parámetros operativos. • **VI–D4:** Diseño y simulación CAD/CAE. • **VD–D1:** Capacidad y productividad. • **VD–D2:** Eficiencia energética. • **VD–D3:** Confiabilidad y mantenibilidad. • **VD–D4:** Durabilidad y calidad de molienda.	• **Materiales:** grado de acero, dureza, resistencia al impacto/abrasión y cumplimiento normativo. • **Manufactura:** WPS/PQR, soldadura, NDT, tolerancias, alineamiento y balanceo. • **Operación:** velocidad, carga de bolas, potencia, vibración y temperatura. • **Rendimiento:** Tn/h, kWh/Tn, disponibilidad, MTBF, MTTR, vida de liners, consumo de bolas y P80.	• **Enfoque:** cuantitativo. • **Método:** aplicado-tecnológico y analítico-comparativo. • **Tipo/nivel:** aplicada-tecnológica; descriptivo-explicativo. • **Diseño:** preexperimental de un solo equipo con medición antes y después. • **Población:** equipos de molienda de la empresa. • **Muestra:** molino horizontal de 3 Tn/h; no probabilística intencional. • **Análisis:** estadística descriptiva y prueba t pareada, α = 0,05.
Problema específico 1 ¿Cuáles son los factores técnicos y operativos que limitan actualmente el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal en la	**Objetivo específico 1** Identificar los factores técnicos y operativos que limitan actualmente el rendimiento operativo del molino de bolas horizontal en la	**Hipótesis específica 1** La identificación de los factores técnicos y operativos que limitan actualmente el rendimiento del molino permitirá establecer acciones	**Variable relacionada** Variable dependiente: rendimiento operativo del molino de bolas horizontal.	• **VD–D1:** Capacidad y productividad. • **VD–D2:** Eficiencia energética. • **VD–D3:** Confiabilidad y mantenibilidad.	• **Capacidad:** producción real en Tn/h. • **Energía:** consumo específico en kWh/Tn. • **Confiabilidad:** disponibilidad, MTBF y MTTR. • **Desgaste/calidad:** vida de liners, consumo de bolas,	• **Técnicas:** observación directa, revisión de registros y mediciones en campo. • **Instrumentos:** medidor de potencia, tacómetro, vibrómetro, termómetro, tamices, fichas de inspección y

Empresa Minera Gold Company Rinconada?	Empresa Minera Gold Company Rinconada.	de mejora para optimizar su desempeño operativo.		• **VD–D4:** Durabilidad y calidad de molienda.	P80, vibración y temperatura.	registros de mantenimiento.
Problema específico 2 ¿Qué procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo pueden aplicarse para mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad y la productividad del molino de bolas horizontal?	**Objetivo específico 2** Analizar los procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo que pueden aplicarse para mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad y la productividad del molino de bolas horizontal.	**Hipótesis específica 2** La aplicación de procesos de manufactura, mantenimiento y control operativo adecuados permitirá mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad y la productividad del molino de bolas horizontal.	**Variable relacionada** Variable independiente: selección de materiales y procesos de manufactura para la optimización técnica del molino.	• **VI–D1:** Selección de materiales. • **VI–D2:** Manufactura, mantenimiento y control. • **VI–D3:** Parámetros operativos.	• **Materiales:** ASTM A128, AISI 4340, AISI 4140, ASTM A516 Gr.70; dureza HRC/HB. • **Manufactura:** corte, rolado, soldadura, mecanizado, tratamiento térmico y recubrimiento. • **Control:** NDT, tolerancias, alineamiento, lubricación, vibración y temperatura. • **Operación:** rpm, carga de bolas, potencia, granulometría y consumo energético.	• **Técnicas:** análisis documental, inspección técnica, ensayos y mediciones experimentales. • **Instrumentos:** durómetro, equipos UT/PT/MT/RT, reloj comparador, alineador, checklists, WPS/PQR y plan de inspección/ensayo.
Problema específico 3 ¿De qué manera el uso de herramientas de simulación computacional y diseño asistido por computadora CAD/CAE contribuye a la optimización del rendimiento operativo del molino de bolas horizontal?	**Objetivo específico 3** Evaluar de qué manera el uso de herramientas de simulación computacional y diseño asistido por computadora CAD/CAE contribuye a la optimización del rendimiento operativo del molino de bolas horizontal.	**Hipótesis específica 3** El uso de herramientas de simulación computacional y diseño asistido por computadora CAD/CAE contribuirá a optimizar el rendimiento operativo mediante el análisis técnico de materiales, componentes y condiciones de operación.	**Variable relacionada** Variable independiente, dimensión de diseño y simulación CAD/CAE; vinculada con el rendimiento operativo.	• **VI–D4:** Modelado geométrico y simulación estructural. • **VD vinculada:** capacidad, confiabilidad y seguridad operacional.	• **Modelo:** diámetro 1,55 m; longitud 2,79 m; velocidad de trabajo ≈ 25,5 rpm. • **Simulación:** material asignado, cargas, torque, esfuerzos de Von Mises, deformación, factor de seguridad y zonas críticas. • **Validación:** correspondencia de resultados simulados con criterios de diseño y mediciones operativas.	• **Herramientas:** Inventor, ANSYS y Excel. • **Procedimiento:** modelado, asignación de materiales, cargas/restricciones, mallado, ejecución, interpretación y contraste técnico. • **Criterio:** componente resistente y factor de seguridad aceptable; identificación de zonas críticas.

ANEXO 2: Formatos Utilizados para la Manufactura:

	PROTOCOLO - CONTROL DE ALINEAMIENTO Y NIVELACIÓN		Código Interno de Formato:
	AREA: CALIDAD		Rev.: 1
			Fecha:
PROYECTO:			
CLIENTE:		PROTOCOLO N°:	
LUGAR/AREA:		CONTRATISTA:	
EJECUCIÓN:		CONTRATO N°:	
PLANO DE REFERENCIA:		FACILITY CODE:	
TAG DEL EQUIPO:		DISCIPLINA:	
SISTEMA:		SUB SISTEMA:	
ESTRUCTURA:		HOJA:	

1. DESCRIPCIÓN DE EQUIPO DE MEDICIÓN

INSTRUMENTO: _____ SERIE: _____

MARCA: _____ N° CERT. DE CALIBRACIÓN: _____

2. ESQUEMA

3. REGISTRO

ÍTEM	COORDENADAS (mm)						NIVELES (mm)		
	Teórico		Real		Desviación				
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Cota Nominal (mm)	Cota Real (mm)	Desviación (mm)

4. COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

TOPOGRAFÍA CORHUAN	TOPOGRAFÍA SUPERVISOR CUMBRA	SUPERVISOR CQC CORHUAN
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA	FIRMA	FIRMA
FECHA:	FECHA:	FECHA:
SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN CORHUAN	**SUPERVISOR CQA CBR&Q**	**SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN CBR&Q**
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA	FIRMA	FIRMA
FECHA:	FECHA:	FECHA:

	PROTOCOLO - APRIETE DE PERNOS	Codigo interno de formato:
		Rev.: 1
	ÁREA: CALIDAD	Fecha: 20/07/2024

PROYECTO:	
CLIENTE:	PROTOCOLO N°:
LUGAR/ÁREA:	CONTRATISTA:
FECHA DE EJECUCIÓN:	CONTRATO N°:
PLANO DE REFERENCIA:	FACILITY CODE:
TAG DEL EQUIPO:	DISCIPLINA:
SISTEMA:	SUB SISTEMA:
ESTRUCTURA:	HOJA: 1 DE

TIPO DE PERNO:	TIPO DE PERNO:	TIPO DE PERNO:	TIPO DE PERNO:
COD. S/ PLANO:	COD. S/ PLANO:	COD. S/ PLANO:	COD. S/PLANO:
DIAMETRO:	DIAMETRO:	DIAMETRO:	DIAMETRO:
CALIDAD:	CALIDAD:	CALIDAD:	CALIDAD:
PAR REQUERIDO:	PAR REQUERIDO:	PAR REQUERIDO:	PAR REQUERIDO:

ESTE DOCUMENTO SOLO ES APLICABLE AL APRIETE FINAL DE JUNTAS DE ACUERDO CON LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD

LLAVE DINAMOMETRICA No:	FECHA CALIBRACIÓN:	LLAVE DINAMOMETRICA No:	FECHA CALIBRACIÓN:
RANGO:		RANGO:	

PLANO DE REFERENCIA	UNION No	TIPO DE PERNOS	CANTIDAD PERNOS	LIBERACIÓN DE TORQUE (%)			APLICACIÓN DE LOCTITE			OBSERVACIONES
				FECHA	ACEPTADO	RECHAZADO	FECHA	APLICA	NO APLICA	

OBSERVACIONES:

SUPERVISOR CQC	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN	SUPERVISOR CQA	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:

	PROTOCOLO - CONTROL DIMENSIONAL	Codigo interno de formato:
		Rev: 0
	ÁREA: CALIDAD	Fecha:

PROYECTO:	
CLIENTE:	PROTOCOLO N°:
LUGAR/ÁREA:	CONTRATISTA:
FECHA DE EJECUCIÓN:	CONTRATO N°:
PLANO DE REFERENCIA:	FACILITY CODE:
TAG DEL EQUIPO:	DISCIPLINA:
SISTEMA:	SUB SISTEMA:
ESTRUCTURA:	HOJA: 1 DE

REQUISITOS	
ETAPA DE FABRICACIÓN:	NORMA DE REFERENCIA:
TIPO DE ESTRUCTURA:	TOLERANCIAS DIMENSIONALES:
CODIGO DE ELEMENTO:	TOLERANCIA DE ALINEAMIENTO:

PUNTOS DE INSPECCIÓN

	COTA (mm)								COTA (mm)								COTA (mm)								
	A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G	H	CONFORME
M. Nominal								M. Nominal								M. Nominal									
Medida Real								Medida Real								Medida Real									
RESULTADO								RESULTADO								RESULTADO									

DETALLES DIMENSIONALES / BOSQUEJO

OBSERVACIONES

SUPERVISOR	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN	SUPERVISOR CQA	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:

	PROTOCOLO - INSPECCIÓN DE MATERIALES/EQUIPOS/INSTRUMENTOS		Código Interno de Formato:
			Rev.:0
	ÁREA:	CALIDAD	Fecha:

PROYECTO:			
CLIENTE:		PROTOCOLO N°:	
LUGAR/ÁREA:		CONTRATISTA:	
FECHA DE EJECUCIÓN:		CONTRATO N°:	
PLANO DE REFERENCIA:		FACILITY CODE:	
TAG DEL EQUIPO:		DISCIPLINA:	
SISTEMA:		SUB SISTEMA:	
ESTRUCTURA:		HOJA:	

INFORMACIÓN DE PAQUETE

PROVEEDOR:	ORDEN DE COMPRA:	GUIA DE REMISIÓN:	PAKING LIST:

ITEM DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN	Unidad	Cantidad	Documentación técnica recibida con el envío	Certificados de Calidad recibidos con el envío	Resultados de la Inspección	¿Comprobados todos los materiales?	¿Algún material dañado o no conforme?	Damage Report o RNC	Se almacenó el equipo o material de manera adecuada siguiendo las recomendaciones del fabricante	OBSERVACIONES

Comentarios:

SUPERVISOR CQC	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN	SUPERVISOR CQA	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN
Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Firma	Firma	Firma	Firma
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA	Formato: Rev.: 0 Fecha:

PROYECTO:	PROTOCOLO No:	
CLIENTE: MINERA	CONTRATISTA:	
LUGAR DE INSPECCIÓN:	CONTRATO No:	DISCIPLINA:
FECHA DE INSPECCIÓN:	FACILITY CODE:	PÁGINA:
SISTEMA:	SUB-SISTEMA:	CÓDIGO/NORMA:

ITEM	PLANO DE REFERENCIA	JUNTA	TIPO DE JUNTA	SOLDADOR	WPS	MATERIAL 1	ESP. 1 (mm)	MATERIAL 2	ESP. 2 (mm)	FECHA VT	ESTADO	OBSERVACIONES
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

COMENTARIOS:

LEYENDA:

A = ACEPTADO	R = RECHAZADO	FP = FALTA DE PENETRACION	CV = CONCAVIDAD	BW = SOLDADURA A TOPE	BR = BRANCH	CR = ESQUINA
P = POROSIDAD	GE = GOLPE ELECTRICO	SV = SOCAVACION	SM = SOBREMONTA	SW = SOLDADURA DE ENCASTE	OV = TRASLAPE	ED = BORDE
FC = FALTA CATETO	FF = FALTA DE FUSION	F = FISURA	SP= SALPICADURA	TH = ROSCADO	T = TEE	

SUPERVISOR	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN	SUPERVISOR	SUPERVISOR CONSTRUCCION
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA	FIRMA	FIRMA	FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

Formato:
Rev.: 0
Date:

PROYECTO:	**PROTOCOLO No:**
CLIENTE:	**CONTRATISTA:**
SISTEMA:	**CONTRATO No:**
LUGAR DE INSPECCIÓN:	**DISCIPLINA:** / **PAGINA:**
FECHA DE INSPECCIÓN:	**SUB-SISTEMA:**
EQUIPO TAG: / **UNIDAD:**	**FACILITY CODE:**
PLANO DE REFERENCIA:	

DESCRIP. DEL ELEMENTO: _____ CÓDIGO/NORMA: _____

CÓDIGO DE ELEMENTO: _____ ILUMINACIÓN _____

SECCIÓN 1: CLASIFICACION DE INSPECCION

TIPO I - PENETRANTE FLUORESCENTE		TIPO I - PENETRANTE NO FLUORESCENTE O VISIBLE	
	MÉTODO A - LAVABLE CON AGUA (ASTM E1209)		MÉTODO A - LAVABLE CON AGUA (ASTM E1418)
	MÉTODO B - POST-EMULSIFICABLE LIPOFIOICO (ASTM E1209)		MÉTODO C - REMOVIBLE CON SOLVENTE (ASTM E1220)
	MÉTODO C - REMOVIBLE CON SOLVENTE (ASTM E1219)		
	MÉTODO D - POST-EMULSIFICABLE HIDROFILICO (ASTM E1210)		

SECCIÓN 2: EQUIPO DE INSPECCION

PRODUCTO	MARCA	FORMA DE APLICACIÓN	TIEMPO DE APLICACION
CLEANER		ESPRAY	
PENETRANTE		ESPRAY	
REVELADOR		ESPRAY	

SECCIÓN 3: ESQUEMA / BOSQUEJO / FOTO

SECCIÓN 4: REGISTRO DE INSPECCIÓN

ITEM	CODIGO DE JUNTA	TIPO DE JUNTA	CODIGO DEL SOLDADOR	FECHA DE INSPECCIÓN	DEFECTOS	RESULTADO	COMENTARIOS

SECCIÓN 5: LEYENDA

PG = POROCIDAD AGRUPADA	SO = SOCAVADO	FF = FALTA FUSIÓN	C = CONFORME	TJ: T-JOINT	EJ = EDGE JOINT
FC = FALTA CATETO	CI = CORDÓN IRREGULAR		NC = NO CONFORME	LJ: LAP JOINT	BJ = BUTT JOINT
PA = POROCIDAD AISLADA	FG = FALTA GARGANTA			CJ = CORNER JOINT	OTR= OTROS

SECCIÓN 6: COMENTARIOS

SECCIÓN 7: INSTRUMENTOS UTILIZADOS

EQUIPO: _____ CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: _____

EQUIPO: _____ CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: _____

EQUIPO: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN:

SUPERVISOR	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN	SUPERVISOR	SUPERVISOR CONSTRUCCIÓN
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:

ANEXO 3: Panel fotográfico Ensamblaje del molino de bolas





























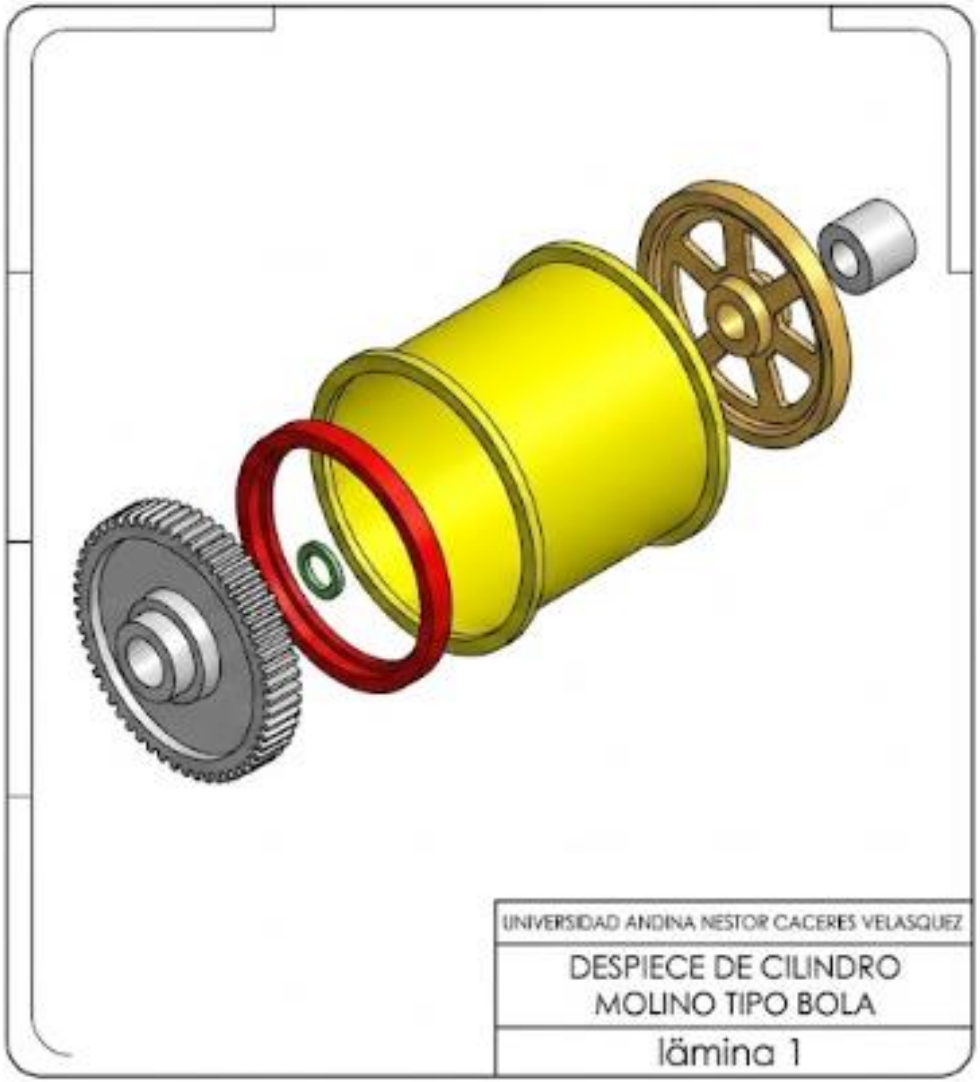


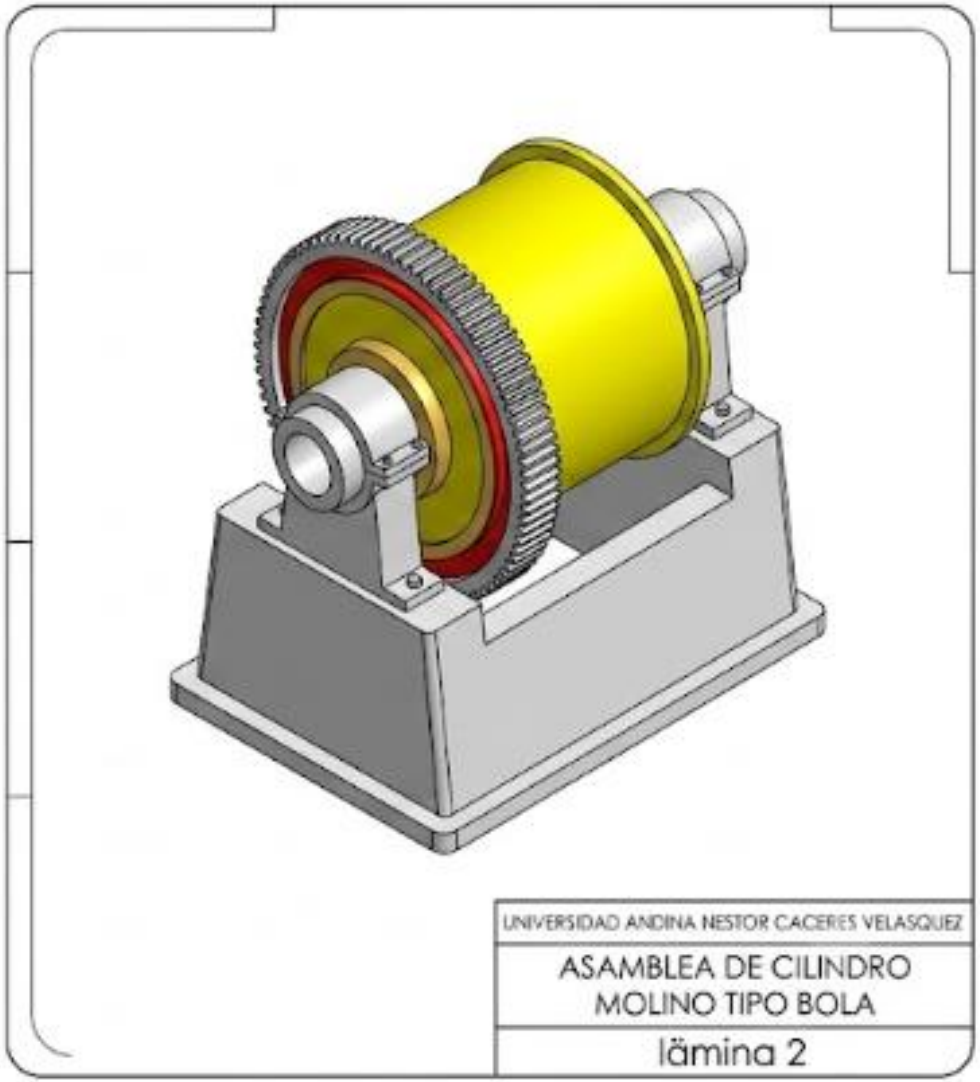


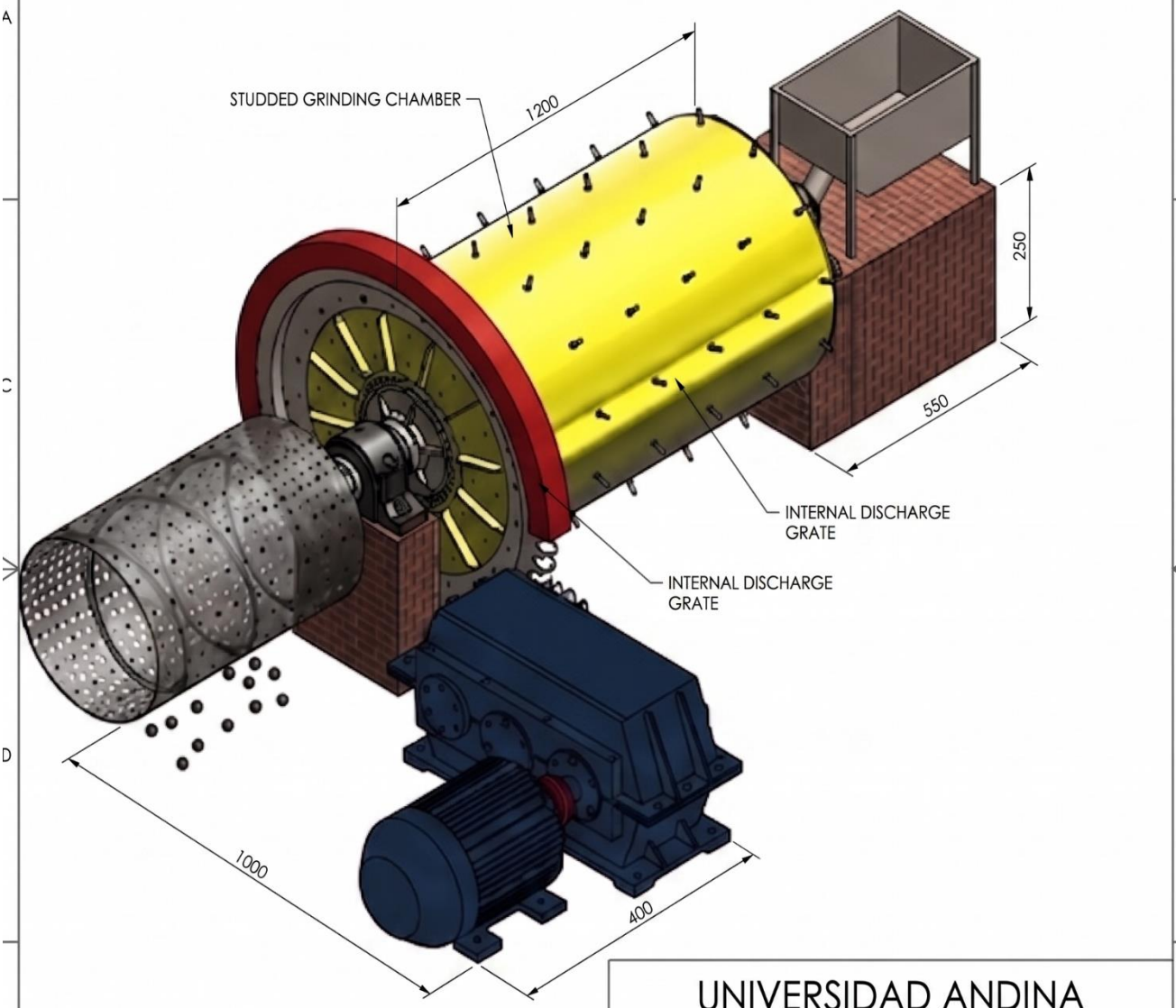




ANEXO 4: Planos de ensamblaje







UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ

PLANO ISOMETRICO DE MOLINO TIPO BOLA

lámina 2

SCALE: 1:50 DATE: [current date]

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X] Fecha de entrega: 14 de Julio del 2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Guido Cahuana Yucra
Dirección: Jr. Tupac Catari #169 Urb. Santa Aurelia - Juliaca
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 47384066
Teléfono: 969717311 email: gcahuanayucra@gmail.com

Nombres y Apellidos:
Dirección:
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:
Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: Ingenierías y Ciencias Puras
Escuela Profesional o Mención: Ingeniería Mecánica Eléctrica
Título o Grado Académico a optar: Ingeniero Mecanico Electricista
Asesor: Ing. Adwar Ramulfo Sanchez Carreon

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]

Título: Mejora de rendimiento operativo de un molino de bolas horizontal de 3 toneladas / hora mediante selección de materiales y procesos de manufactura en la empresa minera Gold Company Rinconada, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Molino de bolas, selección de materiales, procesos

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV [1, 2]?

2

[1] Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

2. **Referencia de tesis:**

☐ Bachiller ☒ Titulo ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. **Licencias:**

a) **Licencia estándar:**

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____

☐ No autorizo.

b) **Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:**

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comérciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

☐ Sí autorizo

☒ No autorizo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral**. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

[X] Internacional

[ ] Nacional

Línea de investigación: Tecnología e Ingeniería Mecanica - P18

Firma de Autor | huella digital | 14 de Julio del 2016 (Fecha)

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES JULIACA

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/