

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de mejora de mantenimiento de los liner
de tapa de molino de bola en una Unidad Minera
Cuprífera en Arequipa, 2022**

Abel Erasmo Romani Palacios

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Nestor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : José Carlos Núñez Hidalgo
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 28 de Setiembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "Propuesta de mejora de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola en una unidad minera cuprífera en Arequipa, 2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Abel Erasmo Romani Palacios, de la E.A.P. de Ingeniería Industrial; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
(Nº de palabras excluidas:) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Abel Erasmo Romani Palacios, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 47613214, de la E.A.P. de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "PROPUESTA DE MEJORA DE MANTENIMIENTO DE LOS LINER DE TAPA DE MOLINO DE BOLA EN UNA UNIDAD MINERA CUPRÍFERA EN AREQUIPA, 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

10 de Setiembre del 2023.



Abel Erasmo Romani Palacios

DNI. No. 47613214

PROPUESTA DE MEJORA DE MANTENIMIENTO DE LOS LINER DE TAPA DE MOLINO DE BOLA EN UNA UNIDAD MINERA CUPRÍFERA EN AREQUIPA, 2022

ORIGINALITY REPORT

17%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	5%
2	kupdf.net Internet Source	1%
3	www.911metallurgist.com Internet Source	1%
4	es.scribd.com Internet Source	<1%
5	dspace.ups.edu.ec Internet Source	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	<1%
7	repositorio.uho.edu.cu Internet Source	<1%
8	repositorio.ug.edu.ec Internet Source	<1%

repositorio.unu.edu.pe

9	Internet Source	<1 %
10	repositorio.upn.edu.pe Internet Source	<1 %
11	www.scribd.com Internet Source	<1 %
12	repositorio.uta.edu.ec Internet Source	<1 %
13	repositorio.uap.edu.pe Internet Source	<1 %
14	core.ac.uk Internet Source	<1 %
15	repositorio.upp.edu.pe Internet Source	<1 %
16	lookformedical.com Internet Source	<1 %
17	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Student Paper	<1 %
18	dspace.uclv.edu.cu Internet Source	<1 %
19	Submitted to IPChile Student Paper	<1 %
20	repositorio.uaustral.edu.pe Internet Source	

<1 %

21

docplayer.es

Internet Source

<1 %

22

www.clubensayos.com

Internet Source

<1 %

23

1library.co

Internet Source

<1 %

24

Submitted to Universidad de Santiago de Chile

Student Paper

<1 %

25

repositorio.ucv.cl

Internet Source

<1 %

26

repositorio.urp.edu.pe

Internet Source

<1 %

27

Submitted to Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Student Paper

<1 %

28

dspace.esPOCH.edu.ec

Internet Source

<1 %

29

es.slideshare.net

Internet Source

<1 %

30

repositorio.uss.edu.pe

Internet Source

<1 %

31	Submitted to Universidad Alas Peruanas Student Paper	<1 %
32	apirepositorio.unh.edu.pe Internet Source	<1 %
33	prezi.com Internet Source	<1 %
34	repositorio.uladech.edu.pe Internet Source	<1 %
35	repositorio.unprg.edu.pe Internet Source	<1 %
36	de.slideshare.net Internet Source	<1 %
37	renati.sunedu.gob.pe Internet Source	<1 %
38	repositorio.uncp.edu.pe Internet Source	<1 %
39	repositorio.upla.edu.pe Internet Source	<1 %
40	moam.info Internet Source	<1 %
41	Nini Tatiana Suárez B, Julio César Escobar Restrepo, Federico Latorre Correa, Junes Villarraga Ossa. "Comportamiento estático de un pilar de circona sometido envejecimiento	<1 %

artificial. Método de elementos finitos",
Revista Facultad de Odontología, 2015

Publication

42	edoc.pub Internet Source	<1 %
43	repositorio.unac.edu.pe Internet Source	<1 %
44	vsip.info Internet Source	<1 %
45	www.goconqr.com Internet Source	<1 %
46	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Student Paper	<1 %
47	repositorio.utea.edu.pe Internet Source	<1 %
48	repositorio.utec.edu.pe Internet Source	<1 %
49	www.dspace.espol.edu.ec Internet Source	<1 %
50	polodelconocimiento.com Internet Source	<1 %
51	pt.slideshare.net Internet Source	<1 %

urp.edu.pe

52

Internet Source

<1 %

53

www.caralunaonline.nl

Internet Source

<1 %

54

www.monografias.com

Internet Source

<1 %

55

bibliotecavirtualoducal.uc.cl

Internet Source

<1 %

56

gefweb.org

Internet Source

<1 %

57

repositorio.uma.edu.pe

Internet Source

<1 %

58

repositorio.unheval.edu.pe

Internet Source

<1 %

59

repositorio.unsaac.edu.pe

Internet Source

<1 %

60

repositorio.unsm.edu.pe

Internet Source

<1 %

61

tesis.usat.edu.pe

Internet Source

<1 %

62

www.aankoopmakelaargonnyvijn.nl

Internet Source

<1 %

63

www.briggsandstratton.com

Internet Source

<1 %

64	www.cooperaccion.org.pe Internet Source	<1 %
65	www.gekon.net.pl Internet Source	<1 %
66	www.iglobal.co Internet Source	<1 %
67	www.repositorio.unam.edu.pe Internet Source	<1 %
68	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
69	Babeş-Bolyai University Publication	<1 %
70	Submitted to Universidad de Costa Rica Student Paper	<1 %
71	alicia.concytec.gob.pe Internet Source	<1 %
72	curie.um.es Internet Source	<1 %
73	doku.pub Internet Source	<1 %
74	dom.sika.com Internet Source	<1 %
75	fdocuments.es Internet Source	<1 %

76	floatspa.pl Internet Source	<1 %
77	infofirma.sea.gob.cl Internet Source	<1 %
78	repositorio.escuelamilitar.edu.pe Internet Source	<1 %
79	repositorio.ucsg.edu.ec Internet Source	<1 %
80	www.atritor.co.uk Internet Source	<1 %
81	www.mtas.es Internet Source	<1 %
82	www.produccioncientificaluz.org Internet Source	<1 %
83	www.repositorio.usac.edu.gt Internet Source	<1 %
84	alejandria.poligran.edu.co Internet Source	<1 %
85	beyondimagebypabloindin.wordpress.com Internet Source	<1 %
86	ctcalidad.blogspot.pe Internet Source	<1 %
87	docs.google.com Internet Source	<1 %

88	fr.slideshare.net Internet Source	<1 %
89	library.ciat.cgiar.org Internet Source	<1 %
90	pesquisa.bvsalud.org Internet Source	<1 %
91	repositorio.udaff.edu.pe Internet Source	<1 %
92	repositorio.upsjb.edu.pe Internet Source	<1 %
93	repositorioacademico.upc.edu.pe Internet Source	<1 %
94	revistas.sqperu.org.pe Internet Source	<1 %
95	www.intabalcарce.org Internet Source	<1 %
96	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
97	www.trucosdewindows.com Internet Source	<1 %
98	"Human Interaction, Emerging Technologies and Future Systems V", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Publication	<1 %

99

zagan.unizar.es

Internet Source

<1 %

100

tesis.ucsm.edu.pe

Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

ASESOR

Mag. Ing. José Carlos Núñez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme bendecido en este camino largo llamado vida, poniendo a personas muy significativas en ella. Agradezco a mi esposa por apoyar mis decisiones, y darme fuerzas para seguir adelante. Agradezco a mis padres por las enseñanzas de valores cuando era pequeño. Por último, agradezco a la Universidad por abrir sus puertas para formarme.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi esposa e hija, gracias a ellas pude terminar mi carrera, por alentarme cada vez que los ánimos caían, de esta manera pude seguir adelante.

A mi esposa, por estar a mi lado en las buenas y en las malas, llenándome de paz interna. A mi hija por ser el fruto de nuestro amor, por quien quiero construir un futuro mejor.

Dedico también esta Tesis a la vida, por darme lo que un hombre desea tener “El amor y respeto de su familia”.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1 Bajo planteamiento del problema.....	1
1.1.2 Problema general.....	2
1.1.3 Problemas específicos	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación e importancia	3
1.3.1 Justificación	3
1.3.2 Importancia de la investigación	3
1.4 Limitaciones de la investigación.....	4
1.5 Delimitación de la investigación	4
1.5.1 Delimitación espacial	4
1.5.2 Delimitación temporal.....	4
1.6 Hipótesis y variables	4

1.6.1 Hipótesis	4
1.6.2 Variables.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes del problema	6
2.1.1 Antecedentes internacionales	6
2.1.2 Antecedentes nacionales	8
2.2 Bases teóricas	10
2.2.1 Mantenimiento	10
2.2.2 Mantenimiento productivo total (TPM).....	10
2.2.3 Propuestas de mantenimiento.....	10
2.2.4 Desperdicios del mantenimiento productiva total	11
2.2.5 Fallos.....	12
2.2.6 Mejora continua	13
2.2.7 Equipos empleados para procesos de molienda.....	14
2.2.8 Principales partes de un molino de bolas.....	18
2.2.9 Factores que afectan la molienda	20
CAPÍTULO III.....	22
METODOLOGÍA.....	22
3.1 Método y tipo de la investigación	22
3.1.1 Método de investigación	22
3.2 Diseño de la investigación	22
3.3 Población y muestra	23
3.3.1 Población.....	23
3.3.2 Muestra.....	23
3.4 Recolección de datos.....	23
3.4.1 Técnicas	23

3.4.2 Instrumentos	23
CAPÍTULO IV	24
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	24
4.1 Determinación de la situación actual.....	24
4.2 Análisis y determinación de las fallas que inciden en la generación sobre los tiempos de trabajo y altos costos en el mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola.....	32
4.2.1 Molinos de concentradora – Unidad minera cuprífera	32
4.2.2 Desgaste del revestimiento de parrilla de descarga	34
4.2.3 Desperdicios – operación de molienda concentradora	35
4.3 Propuesta de mejora de mantenimiento.....	37
4.3.1 Planificación.....	37
4.3.2 Hacer	40
4.3.3 Verificación	55
4.3.4 Actuar	56
4.4 Evaluación económica	59
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente propuesta de mejora de mantenimiento	5
Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente tiempos de mantenimiento, producción y costos	5
Tabla 3 Análisis de causa raíz	30
Tabla 4 Priorización de desperdicios según técnica TPM	34
Tabla 5 Tipos de liners para Molino con Bolas.....	35
Tabla 6 Materiales empleados en la mejora del mantenimiento de Liners de tapa....	39
Tabla 7 Reporte de manejo y procesamiento de los molinos pertenecientes a la unidad minera cuprífera en un turno de trabajo	60
Tabla 8 Costos de parada del molino de bola por mantenimiento (sin plataforma) ...	61
Tabla9. Costos de parada del molino de bola por mantenimiento (con plataforma) ..	63
Tabla10. Beneficio económico de la implementación a todos los molinos.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño general interno de molino de barra.....	15
Figura 2. Estructura general del molino de bola	16
Figura 3. Cuerpos para molienda en regímenes de operación a) cascada, b) mixto, c) catarata.....	17
Figura 4. Procesamiento de los minerales dentro del molino.	18
Figura 5. Esquema gráfico de las partes de un molino.....	19
Figura 6. Diagrama de flujo de proceso productivo del manejo del Cobre de la unidad minera cuprífera.....	25
Figura 7. Diagrama de operaciones del proceso productivo de la organización	26
Figura 8. Vista de los molinos de bola	27
Figura 9. Ingresos y salidas del molino de bola de la organización	27
Figura 10. Paro mecánico en Concentradora - unidad minera cuprífera	28
Figura 11. Parada menor – Molino de bolas	29
Figura 12. Diagrama de Ishikawa.....	30
Figura 13. Diagrama de Pareto en la unidad minera cuprífera.	31
Figura 14. Manejo de andamios para mantenimiento de Liners	32
Figura 15. Concentradora – Área de Molienda.....	33
Figura 16. Equipo de Molienda	34
Figura 17. Liners de tapas alimentación y descarga	35
Figura 18. Desgaste en los liners.....	36
Figura 19. Desgaste en tapas de alimentación	36
Figura 20. Molino de bola sin plataforma fija tipo elevador.....	37
Figura 21. Esquema general del molino de bola e incorporación de plataforma.....	38
Figura 22. Previsualización de posicionamiento de plataforma en el molino	38
Figura 23. Plataforma de elevación.....	41

Figura 24. Estructura principal	42
Figura 25. Asignación de cargas y restricciones estructurales	43
Figura 26. Desplazamiento por cargas de servicio (mm) y momentos de la estructura principal	44
Figura 27. Diagrama de corte y momentos	45
Figura 28. Esfuerzos.....	45
Figura 29. Mecanismo de anclaje y elevación.....	46
Figura 30. Asignación de cargas y restricciones	46
Figura 31. Desplazamiento por cargas de servicio.....	47
Figura 32. Esfuerzo Von Mises	47
Figura 33. Verificación del factor de seguridad mínimo (15).....	48
Figura 34. Asignación de cargas.....	48
Figura 35. Estructura principal y orejas de sujeción del Tecla.....	49
Figura 36. Asignación de cargas y restricciones	50
Figura 37. Lista de materiales a emplear para la mejora.....	51
Figura 38. Ensamble de la plataforma para cambio de Liners de tapa	52
Figura 39. Disposición y despiece del elevador	53
Figura 40. Zonificación del elevador sobre el molino de bolas	54
Figura 41. Instalación de la plataforma en el molino	57
Figura 42. Disposición del elevador	58
Figura 43. Operación de la plataforma para mantenimiento de Liners de Tapa del molino de bola	59
Figura 44. Presupuesto de plataforma tipo elevador para tapas de molinos de bolas	62

RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo implementar una propuesta de mejora de mantenimiento de los Liners de tapa de molino de bola en una unidad cuprífera, Arequipa, 2022. Este proyecto busca reducir el tiempo de mantenimiento preventivo y correctivo de las fallas de los Liners de tapa de molino de bola detectadas durante el funcionamiento establecido de los equipos dentro de la organización. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo, deductivo, preexperimental ya que se evidenció los beneficios después de la implementación de la propuesta, como muestra se consideró un muestreo no probabilístico, por conveniencia; para ello se tomó el molino de bolas con mayor registro de fallos a lo largo del tiempo durante el último año de funcionamiento. Consecuentemente, se presentó la situación actual diagnóstica para la conciliación de las fallas y desperdicios presentados en la muestra de estudio; se implementó la propuesta de mejora de mantenimiento de los Liners de tapa de molino de bola por medio del uso de una plataforma fija tipo elevador, dicha propuesta siguió los estándares de mejora continua PHVA donde se abordó el diseño del elevador, se realizó la simulación asistida por computador para verificar el comportamiento estructural en cuanto al ratio máximo, la carga de la columna principal, la deflexión lateral y cargas máximas de soporte de la estructura, asimismo se analizó las cargas de sujeción de la barra redonda, el desplazamiento máximo de la oreja y el factor de seguridad; cabe destacar que se emplearon materiales estandarizados de construcción como lo es AISI 1045 y ASTM A36. El beneficio económico de la propuesta representó un cambio relevante esclareciendo un ahorro de \$/350,000 para las paradas programadas por mantenimiento y \$/312,303.6 por producción después de la implementación.

Palabras claves: molino, mejora continua, mantenimiento, Liners

ABSTRACT

The objective of this study was to implement a proposal to improve the maintenance of ball mill cover liners in a copper unit, Arequipa, 2022. This project seeks to reduce the preventive and corrective maintenance time of ball mill cover liner failures detected during the established operation of the equipment within the organization. The research was developed under a quantitative approach, descriptive, deductive, pre-experimental scope, since the benefits were evidenced after the implementation of the proposal, as a sample was considered a non-probabilistic sampling, by convenience; for this purpose, the ball mill with the highest record of failures over time during the last year of operation was taken. Consequently, the current diagnostic situation was presented for the reconciliation of the failures and wastes presented in the study sample; the maintenance improvement proposal of the ball mill lid liners was implemented through the use of a fixed platform type elevator, this proposal followed the PHVA continuous improvement standards where the design of the elevator was approached, the computer assisted simulation was performed to verify the structural behavior regarding the maximum ratio, the load of the main column, the lateral deflection and maximum support loads of the structure, also the clamping loads of the round bar, the maximum displacement of the ear and the safety factor were analyzed; It should be noted that standardized construction materials such as AISI 1045 and ASTM A36 were used. The economic benefit of the proposal represented a relevant change, showing a savings of \$/350,000 for scheduled maintenance shutdowns and \$/312,303.6 for production after implementation.

Keyword: mill, continuous improvement, maintenance, Liners

INTRODUCCIÓN

Para muchos países, la minería es una parte fundamental de la economía y un motor del crecimiento local. Para cumplir sus objetivos de producción, las empresas de esta naturaleza necesitan maquinaria bien mantenida y que sea lo suficientemente robusta como para soportar las pesadas cargas a las que se enfrentan habitualmente. Si bien no se toma en cuenta la inversión privada y las aspiraciones internacionales de inversión, esta industria es una de las más importantes del Perú, representando alrededor del 10 % del PBI nacional y el 61 % según estimaciones del MINEM al año 2022.

Asimismo, es uno de los sectores más productivos, ya que hace un uso eficiente de sus recursos en relación con su producción; de esa manera, la utilización de los recursos es una medida clave para la productividad. Entre estos factores se encuentra la maquinaria, que debe cumplir con los requisitos de la industria en términos de tiempo, vida útil y gastos si se quiere mantener una ventaja competitiva; por tanto, garantizar que estas máquinas sigan funcionando eficazmente a lo largo del tiempo es esencial para el éxito de estas empresas.

En el dinámico y exigente entorno de la industria minera cuprífera en Arequipa, el mantenimiento eficiente y efectivo de los equipos es esencial para garantizar la continuidad operativa y la rentabilidad de las unidades mineras. Uno de los componentes cruciales en este proceso es el "liner" de tapa de molino de bolas, cuya función es proteger el molino y optimizar el proceso de molienda de mineral. A partir de ahí, es necesario establecer objetivos de mantenimiento que fomenten el crecimiento de la fiabilidad de los equipos, los bajos costes, la optimización y la calidad del producto. Los estándares y la eficiencia de la industria minera pueden beneficiarse del uso del TPM y de otras técnicas operativas que fomentan una cultura de mejora continua.

Esta investigación está desarrollada en 4 capítulos. El Capítulo I, el cual describe la problemática existente formulando los mismos y estableciendo consecuentemente los objetivos de estudio. El capítulo II hace referencia a los antecedentes de investigación que amparan en la implementación de la propuesta de mantenimiento a abordar. En el capítulo III se plantea y aborda la metodología. En el capítulo IV se presentan los resultados y análisis de los datos; así como también su discusión. Finalmente, se esclarecen las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Bajo planteamiento del problema

Las empresas mundiales se ven presionadas para detener los fallos producidos en el transcurso de los procesos de creación de productos o servicios, ya que el mercado recompensará a quienes mejoren los procedimientos y detengan las pérdidas provocadas por las averías de los equipos. Es de relevancia resaltar, que el proceso de producción debe detenerse cuando se produce un fallo, lo que repercute en la eficacia de toda la operación (La Rotta y Torres, 2017).

En este sentido, en particular, uno de los procesos de la industria minera, la molienda, depende de la disminución de los tamaños diversos de los materiales extraído a través de este proceso de manera más vertiginosa y efectiva, lo que hace urgente la necesidad de optimizar el proceso (Zamora y Torres, 2021). En consecuencia, se transforma en uno de los problemas a los que se enfrenta este rubro industrial. En el caso puntual, una unidad minera cuprífera ubicada en la ciudad de Arequipa.

Asimismo, el área de molienda de la organización previamente mencionada utiliza equipos esenciales para dichos procesos, como lo es el molino de bolas; en este molino se ha identificado, por medio de un análisis abordando los parámetros teóricos del mantenimiento productivo total, que presenta un cierto número de fallas que afectan el desempeño del área, porque resultan en la producción de desperdicios, pérdidas que reducen los resultados y el esfuerzo del área; paradas no programadas de un espacio temporal largo; e inseguridad

en la cuadrilla que ejecuta el mantenimiento. Reafirmando, se establecen condiciones de mantenimiento que cohiben el desempeño del resto de procesos consecuentes a él, lo que se traduce en pérdida de tiempos de producción. También cabe destacar las condiciones a las cuales se exponen los trabajadores para dar apertura a la tapa principal del molino y así realizar los mantenimientos. Aseverando que los tiempos de inactividad causados por el mantenimiento preventivo o correctivo interrumpen el proceso de fabricación, los incidentes de inactividad operativa suponen una mayor pérdida de producción. Esta afirmación implica que el problema de las averías del molino de bolas (tiempo de inactividad, pérdida de producción, tiempo de procesamiento, tiempo de mantenimiento y otros) repercute en la generación de valor por sí mismo, en detrimento de los costes que ello conlleva.

1.1.2 Problema general

¿De qué forma la implementación de una propuesta de mejora de mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola disminuirá los tiempos de mantenimiento, producción y costos en los molinos de bolas en una unidad minera cuprífera en Arequipa, 2022?

1.1.3 Problemas específicos

- ¿Cuál es la situación inicial diagnóstica en materia de mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola?
- ¿Cuáles son los fallos que inciden en la generación de sobre tiempos de trabajo, producción innecesaria y altos costos en el mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola?
- ¿La propuesta de mejora de mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola mediante el uso de una plataforma fija tipo elevador disminuirá los tiempos de mantenimiento, producción y costos?
- ¿Qué beneficios económicos se obtendrán de la implementación de la plataforma tipo elevador?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Implementar una propuesta de mejora de mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola en una unidad minera cuprífera en Arequipa, 2022.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la situación inicial diagnóstica en materia de mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola.
- Analizar y determinar los fallos que inciden en la generación de sobre tiempos de trabajo, producción innecesaria y altos costos en el mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola.
- Implementar propuesta de mejora de mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola mediante el uso de una plataforma fija tipo elevador.
- Evaluar económicamente la implementación del proyecto de la plataforma tipo elevador.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación

La investigación se justifica teóricamente, porque busca aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería industrial y pretende dar un aporte de conocimiento y tecnología sobre lo ya establecido en cuanto al abordaje de una propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de Liner de tapa de molino de bola que fundamenta un listado metodológico para promover la investigación futura en este campo.

A nivel práctico, la investigación propicia la mejora del abordaje de la implementación de una propuesta de mantenimiento en función al alto espectro minero operativo a nivel nacional e internacional, optimizando dicho proceso para el aumento de productividad del equipo y mitigación de riesgos físicos del personal técnico que realiza el mantenimiento, esto se logra por medio de la implementación de la propuesta a plantear.

1.3.2 Importancia de la investigación

Según información del Ministerio de Energía y Minas, para el 2022 existen 973 unidades mineras operando en el Perú, de las cuales se espera que 710 estén en producción y 288 en exploración, esto, esclarecido por el Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM, 2022). Teniendo en cuenta que la mayoría de las empresas mineras del mundo están representadas en este número y que cada unidad debe incluir el proceso de molienda, esta aplicación es muy

relevante porque los resultados pueden ser utilizados también en otros contextos.

1.4 Limitaciones de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se presentan limitaciones en cuanto a las fuentes de información bibliográficas similares sobre la temática de estudio.

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Delimitación espacial

La investigación se establece en la planta de procesamiento de cobre de una unidad minera cuprífera específicamente en el proceso de molienda.

1.5.2 Delimitación temporal

El desarrollo de la investigación y recaudación de la información se realizó entre los meses de octubre a diciembre del 2022.

1.6 Hipótesis y variables

1.6.1 Hipótesis

Se propone implementar una propuesta de mantenimiento de Liner de tapa de molino de bola en una unidad minera cuprífera, promueve la disminución de desperdicios en el tiempo de mantenimiento; y, propicia el mejoramiento de la seguridad de la cuadrilla de trabajo por medio del establecimiento de una plataforma tipo elevador.

1.6.2 Variables

Variable independiente 1: Propuesta de mejora de mantenimiento

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente propuesta de mejora de mantenimiento

Variable independiente	Dimensiones	Indicador
Propuesta de mejora de mantenimiento	Situación inicial diagnóstica	Número de fallos
	Identificación de fallos	Matriz de selección de fallos
	Plan de mantenimiento mediante el uso de una plataforma fija tipo elevador	Mejoras identificadas

Variable dependiente 2: Tiempos de mantenimiento, producción y costos

Tabla 2

Operacionalización de la variable independiente tiempos de mantenimiento, producción y costos

Variable dependiente	Dimensiones	Indicador
Tiempos de mantenimiento, producción y costos	Mantenimiento de Liner y tapas	Actividad de conservación de Liner y tapas
	Pérdidas de tiempos	Paradas de máquinas
	Pérdidas en la máquina	Vida útil de los componentes
	Pérdida en el proceso	Cantidad de producto procesado

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

Zamora (2018), en su investigación realizada en la Universidad Católica de Valparaíso para optar al título universitario de ingeniero civil mecánico en Chile, titulada “Diseño de un plan de mantenimiento para un molino de bolas de la empresa compañía minera Cerro Negro S.A.”, tuvo por objetivo “diseñar un plan de mantenimiento al molino de bolas G de la compañía en cuestión con el cual se implementarán acciones, recomendaciones y metodologías para la futura aplicación dentro de la organización”. El desarrollo de este trabajo demostró que la ausencia de un plan de mantenimiento, la falta de un presupuesto de sustitución y la naturaleza recurrente de las actividades de mantenimiento correctivo no auguran nada bueno para el funcionamiento eficaz del molino G y los resultados de la empresa. El Análisis Modal de Fallos y Efectos (FMECA) proporciona una valiosa información sobre el funcionamiento de los componentes del sistema, los posibles modos de fallo, los posibles resultados y las posibles soluciones, al permitir a los usuarios visualizar e identificar los modos de fallo que difieren de los que ofrece el historial de fallos. El análisis crítico y el desarrollo del modelo de fiabilidad requirieron una cuidadosa aplicación e interpretación de los datos; por ejemplo, debido a que el registro de fallos de la fábrica contenía muchas lagunas de información y la escasez de datos, es posible que los valores obtenidos no se correspondieran realmente con

la teoría. Por lo tanto, se recomienda que las listas de comprobación y el informe de averías propuestos se incluyan en el plan de mantenimiento sin excepción, con el objetivo de dar el pistoletazo de salida a la creación de un registro/historial del equipo que pueda utilizarse en el futuro. Después de completar el Capítulo IV, queda claro que la bomba y las roturas de la fábrica de almacenamiento de piensos son las que necesitan más cuidados, ya que su fallo tendrá un efecto devastador en el valor del Costo Global de Mantenimiento (CGM) de la empresa. Con el plan de mantenimiento basado en la condición propuesta, se espera que los índices de fallo de los componentes disminuyan y que se lleve a cabo más mantenimiento preventivo a la luz de los resultados. De este modo, será posible mejorar la disponibilidad de los componentes y, por tanto, la accesibilidad de los equipos.

Arias y Villacrés (2020), en su tesis realizada en la Universidad Politécnica Salesiana para optar al título de ingeniero industrial en Ecuador, titulada “Reingeniería en el diseño e implementación de un molino tipo bola para una industria minera ubicada en Naranjal”. El objetivo de este proyecto es utilizar técnicas de ingeniería innovadoras para diseñar y construir un molino de bolas que permita triturar rocas de tamaño comparable. El proyecto abarca una reingeniería completa de la máquina, con especial énfasis en factores clave como minimizar el desgaste de sus componentes. Al mismo tiempo, se desarrolla un programa de mantenimiento preventivo para garantizar el buen funcionamiento de la máquina y reducir la frecuencia con la que debe someterse a mantenimiento correctivo. El proyecto también incluye un análisis de costes y beneficios, una simulación en SOLIDWORKS de la máquina montada y planos y vistas de corte en SOLIDWORKS que pueden utilizarse para fabricar las piezas principales de la máquina. Con un poco de matemática creativa, pudimos calcular que sería necesario un motor de 315,7 CV para aumentar la producción del molino de 4 a 5,89 toneladas por hora; como el molino funciona 22 horas al día, esto supone un aumento diario de 41,58 toneladas. Se implantó el mantenimiento preventivo y, gracias a ello, mejoramos nuestra capacidad para controlar el uso y el funcionamiento del molino de bolas y realizar las tareas programadas necesarias para evitar averías imprevistas y pérdidas de producción (como se detalla en el capítulo 4). La empresa realizó un análisis coste-beneficio de la fabricación de un molino de bolas más grande que el

anterior, que ascendió a 441.000 dólares tras tener en cuenta el coste de envío del equipo y los gastos de funcionamiento para ponerlo en marcha.

Arroyo (2018) en su tesis de grado realizada en la Universidad de Talca para optar al grado académico de ingeniero civil de minas en Chile, titulada “comparación del desgaste de los cuerpos molidores por uso de agua de mar en el proceso de molienda”, en este estudio, el proceso de molienda se llevó a cabo durante un total de 280 horas para determinar la eficacia relativa del agua de mar y del agua dulce. Ambos molinos de bolas se construyeron a escala de laboratorio, con bolas de acero de 1 pulgada utilizadas en los distintos experimentos. En los procesos de trituración y molienda se utilizaron partículas de mineral de oro de menos de 150 m de tamaño. Algunas bolas se marcaron para poder rastrearlas. La masa y la superficie de las herramientas de trituración se comprobaron cada 40 horas. Se utilizó la fluorescencia de rayos X para analizar el mineral fundido y determinar la cantidad de impurezas presentes debido al agotamiento de los recursos de procesamiento del material fundido. Las pruebas mostraron que tanto el agua de mar como el agua corriente del grifo producían niveles similares de residuos, lo que sugiere que la primera no altera significativamente la segunda durante el proceso de mopa. El análisis metamórfico no reveló daños en la superficie; no obstante, se descubrieron hierro y otros elementos en el mineral procedente de las bolas de acero, y sus concentraciones eran similares en ambos medios. Las pruebas de análisis de metales no permitieron detectar desechos por abrasión, impacto o corrosión, pero esto no descarta su existencia. Tales daños podrían haber sido superficiales y localizarse únicamente en los cuerpos moleculares de las piezas móviles del molino, lo que imposibilitaría su detección. Cabe señalar que al final de cada período de molienda, los cuerpos moleculares permanecían perfectamente limpios del roce entre los cuerpos moleculares, el mineral y el molino.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Aguilar (2018), en su investigación realizada en la Universidad Continental para optar al título de ingeniero industrial en Perú, tuvo como objetivo mejorar los procedimientos para eliminar las piezas que no aportan valor. Basándose en la exigencia de una gestión eficaz de los recursos que se manejan en el área de mantenimiento del área de molienda de la planta concentradora de cobre, por lo que se aportó componentes para identificar y eliminar los elementos. El estudio

se centró en la aplicación del concepto de Mantenimiento Productivo Total (TPM) utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa, el enfoque de las 5 S y el árbol de decisiones para identificar las causas y sugerir las soluciones adecuadas. Los resultados mostraron una reducción de las paradas relacionadas con los fallos, aumentando la formación y la eficiencia de los trabajadores y reduciendo las paradas de calidad.

Inga (2021), en su estudio realizado en la Universidad Nacional del Centro del Perú, para optar al título de ingeniero mecánico en Perú, tuvo como propósito aumentar la producción de la unidad minera mediante el análisis del molino de bolas, una pieza clave de la maquinaria cuya producción diaria se ha estancado debido a la falta de materias primas. Este estudio se caracteriza por ser una investigación ex post facto, metódica, técnica, de nivel aplicado y diseñada a posteriori. Los resultados mostraron el incremento desde su rango anterior del 87 % al 89 % de disponibilidad mecánica del molino de bolas de 9x13 pies de Allis Chalmers, lo que tuvo un impacto directo en la producción diaria calculada en una media de 27 toneladas por hora, mediante la evaluación de sus KPIs y la determinación del porcentaje de disponibilidad mecánica y de mantenimiento que la empresa.

Muñoz (2019), en su estudio realizado en la Universidad Continental para optar al grado académico de ingeniero industrial en Perú, tuvo como objetivo plantear una propuesta de mejora para la sustitución de revestimientos de molinos de bolas en el área de concentración de una empresa minera, así como definir la técnica para hacerlo e identificar los problemas del proceso. Los resultados mostraron que, con esta mejora, las empresas proveedoras podrán estandarizar y controlar la calidad de sus productos, siguiendo las dimensiones originales de los planos dados, ahorrando una hora por cada revestimiento obsoleto. Además, el plan de mejora recomendado pretende atajar las dificultades que causan pérdidas a la empresa y a los empleados, garantizar horas de trabajo productivas y potenciar la motivación y la creatividad.

Chiguano (2020), en su investigación realizada en la Universidad técnica de Ambato, para optar al título profesional de ingeniero mecánico, en Perú, tuvo como objetivo implantar el TPM en toda la empresa, once de los doce procesos esenciales del JIMP (Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas) en el subproceso de molienda, la etapa más crítica en la producción de harina integral.

Este proyecto desarrolló todas las reglas para la aplicación real de la idea en un plan maestro de las 5 S, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mantenimiento predictivo y mantenimiento de calidad. Logrando incorporarse a los demás subprocesos de la empresa si la dirección así lo decide. El mantenimiento predictivo en el banco de fresado B1 se basaba en la identificación con el TP de que se estaba desarrollando un problema, mientras que el mantenimiento planificado se basaba en el cálculo del MTBF y el MTTR, ambos vitales para calcular el OEE y dirigir las opciones de mantenimiento para mejorar la producción de la máquina. Como resultado se mostró, que todos los mantenimientos propuestos utilizaban la estandarización y las auditorías para gobernar y aplicar el plan de mejora continua.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento

La función principal del mantenimiento es mejorar la fiabilidad de la maquinaria y los equipos de una organización mediante el desarrollo, la aplicación y la evaluación sistemáticos de estrategias de atención preventiva. Existe una clara correlación entre la eficacia de los equipos y los procedimientos de mantenimiento (Guerra y Oca, 2019).

2.2.2 Mantenimiento productivo total (TPM)

El mantenimiento productivo total o TPM es un enfoque novedoso del mantenimiento en las instalaciones de fabricación que hace hincapié en el trabajo en equipo, la eficiencia y un enfoque holístico de la gestión de la maquinaria y los equipos desde la fase de planificación hasta el final de su vida útil. El TPM tiene sus raíces en el sector del automóvil, pero su aumento de la productividad, la rentabilidad, la gestión y la calidad han llamado la atención más allá de Japón. El Instituto Japonés de Ingenieros de Planta, que actualmente se dedica a la consultoría, la investigación y la formación de ingenieros de planta, utilizó por primera vez la expresión "Mantenimiento Productivo Total" en 1971 (Canahuza, 2021).

2.2.3 Propuestas de mantenimiento

Las propuestas o planes de mantenimiento sustentan un sistema de fabricación organizado, estos son:

- **Mejoras enfocadas:** son operaciones diseñadas para optimizar el rendimiento global de los equipos, procesos e instalaciones mediante la reducción de los residuos (Castillo et al., 2018).
- **Mantenimiento autónomo:** el mantenimiento de la maquinaria y los equipos implica al personal de la planta en tareas fundamentales como la limpieza, la lubricación y los ajustes básicos (Castillo et al., 2018).
- **Mantenimiento planificado:** arreglar, prevenir y anticipar los problemas de los equipos. Utilizando bases de datos, planificación de recursos y administración tecnológica (Castillo et al., 2018).
- **Mantenimiento de calidad:** este parámetro trata de mejorar la calidad de la producción eliminando la variabilidad de la maquinaria o los equipos (Castillo et al., 2018).
- **Prevención del mantenimiento:** se realiza a lo largo de las fases de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos para reducir el mantenimiento (Castillo et al., 2018).
- **Mantenimiento en áreas administrativas:** acciones de planificación, desarrollo, administración, etc. que proporcionan datos cruciales de fabricación (Castillo et al., 2018).
- **Entrenamiento y capacitación:** formación del personal para leer y reaccionar adecuadamente a los datos de producción para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y las herramientas (Castillo et al., 2018).

2.2.4 Desperdicios del mantenimiento productiva total

Las pérdidas o desechos del mantenimiento productivo total son:

- **Paros mecánicos:** conocer los fallos de las máquinas no es suficiente. Es importante saber qué causa estos retrasos. Entender los factores de los turnos es clave para ejecutarlos con éxito. Los operarios deben saber si la parada fue causada por personal sin experiencia, equipos defectuosos o falta de mantenimiento (Landeros et al., 2019).
- **Cambios y preparaciones:** conocer los tiempos de transición influye en los cambios y los preparativos. Un trabajador sin objetivos de transición ni instalaciones adecuadas no puede reducir los tiempos (Landeros et al., 2019).
- **Esperas y paradas menores:** los pequeños retrasos e interrupciones pueden causar grandes pérdidas de productividad y recursos. Los indicadores de calidad son susceptibles de sufrir pequeñas interrupciones (Landeros et al., 2019).

- **Reducción de la velocidad de las operaciones:** la velocidad de la línea afecta a la producción si el personal dispone de las instalaciones adecuadas. Como a los trabajadores les gusta ser vigilados, trabajan más de lo normal (Landeros et al., 2019).

- **Retrabajos y rechazos:** para hacer cambios, hay que saber por qué se perdió tanto dinero. Esto implica entender cuántas cosas se rechazaron, se revisaron y por qué (Landeros et al., 2019).

- **Pérdidas en los cambios:** las empresas pierden productos básicos en las primeras fases de la fabricación, como cuando se ponen en marcha los equipos. Si una línea de producción se pone en marcha y se reinicia a menudo, estas circunstancias pueden mejorar (Landeros et al., 2019).

2.2.5 Fallos

Mal funcionamiento equivale a avería, fallo, rotura, daño, perjuicio, etc. Un fallo mecánico es un defecto o una debilidad que impide que un activo funcione como está previsto en una serie de situaciones, como la funcionalidad, el estado de conservación, la capacidad productiva, la calidad del producto, la seguridad, etc. (Canahua, 2021).

Debido al alcance del término, se requiere una categorización basada en una serie de factores:

Modo de aparición y desarrollo:

- Progresivo: también conocido como gradual o paramétrico, es el resultado de una disminución constante de la calidad de algún aspecto del funcionamiento de un sistema de fabricación.

- Repentino: esta forma de avería es indetectable ya que sucede de la nada.

Según cómo influya en el procedimiento:

- Parcial: a menudo conocidas como "incompletas", estas averías no provocan una parada inmediata del equipo o proceso afectado, pero sí afectan a su funcionalidad.

- Total: cuando esto ocurre, la máquina o la línea de fabricación debe apagarse inmediatamente.

Según el momento en el que se produzcan:

- Infantil: los que se producen durante el proceso de fabricación (o la fase de prueba) se denominan defectos de primera pieza.

- Por envejecimiento: son el resultado de las averías regulares e inevitables que se producen en cualquier pieza de maquinaria o equipo a medida que pasa el tiempo mientras se utiliza.

Según la persistencia de la avería en el tiempo:

- Estable: al igual que las averías, estos problemas desaparecen después de arreglar la pieza rota.

- Pasajero: también conocidos como temporales, estos sucesos tienden a ser impredecibles y se resuelven solos con el tiempo.

- Intermitente: se refieren a las condiciones que surgen como resultado de la realización de una tarea, y pueden incluir variaciones de temperatura, ritmo de funcionamiento, etc.

Según el origen del fallo:

- Directo o dependiente: son problemas que parecen surgir siempre con la misma pieza de maquinaria.

- Indirecto o independiente: son averías que surgen como consecuencia directa del uso de otros componentes del sistema de fabricación.

Según los detalles de la avería:

- Manifiesto: se refieren a los percances de los que se sabe más o menos lo que ha fallado gracias a los registros, los relatos de testigos presenciales, las mediciones, etc.

- Oculto: estos sucesos tienen lugar cuando no se han llevado a cabo los procedimientos para identificar el fallo ni la aplicación de estas estrategias.

2.2.6 Mejora continua

Hay dos formas de ver la mejora continua: como filosofía de trabajo y como sistema, cuyo objetivo es mejorar las actividades diarias en términos de productividad, calidad, coste, seguridad, satisfacción, tiempo en los ciclos de producción, tiempo de respuesta y fiabilidad del proceso. La mejora continua es un proceso orientado a la acción y basado en el trabajo en equipo, que promueve la idea de que todos los empleados participan y son responsables de guiar a la empresa hacia su objetivo de perfección. Implica no sólo establecer un sistema, sino también formación continua, adhesión a una filosofía de gestión e implicación de todos (Agudo et al., 2017; Aldea, 2021).

Asimismo, Zambrano y Almeida (2018), establecen que la mejora continua es el proceso de analizar, revisar y realizar ajustes en los procesos de una organización o administración para reducir los errores de forma sostenible. La

expresión "mejora continua de los procesos" hace referencia a la búsqueda incesante de formas de mejorar la calidad de las operaciones empresariales, los bienes de consumo y la prestación de servicios mediante ajustes y modificaciones. La práctica de actividades o estrategias dentro de la administración de empresas que dirigen múltiples de sus procesos (como ventas, atención al cliente, producción, etc.) hacia la calidad y la excelencia constituye la mejora continua.

Aunado a ello, la promoción interna de una cultura centrada en la calidad, con objetivos claramente definidos para orientar las acciones y realizar un seguimiento de los progresos, y el reconocimiento y la celebración de los éxitos a nivel externo son componentes esenciales del proceso de Mejora Continua (IC) exigido por la norma ISO 9001. La mejora continua requiere una perspectiva global coherente, recursos humanos bien formados y las herramientas adecuadas (Medina et al., 2019).

2.2.7 Equipos empleados para procesos de molienda

Molinos de barra

El molino de barras es bastante similar al molino de bolas, con la excepción de que utiliza largas barras de acero para moler, normalmente de entre 3,5 y 5 pulgadas de diámetro (Figura 2). Con su movimiento constante, estos cuerpos de acero transportan el mineral al interior del molino. Los molinos de barril pueden alimentarse con mineral de hasta 50 mm de diámetro. Los materiales procedentes de la trituradora secundaria se introducen continuamente en el molino de barras giratorio a través de una cinta transportadora. El mineral se desmenuza por la acción descendente de las barras libres que ahora están en movimiento. El mineral líquido pasa directamente al siguiente molino de bolas.

Figura 1.

Diseño general interno de molino de barra.

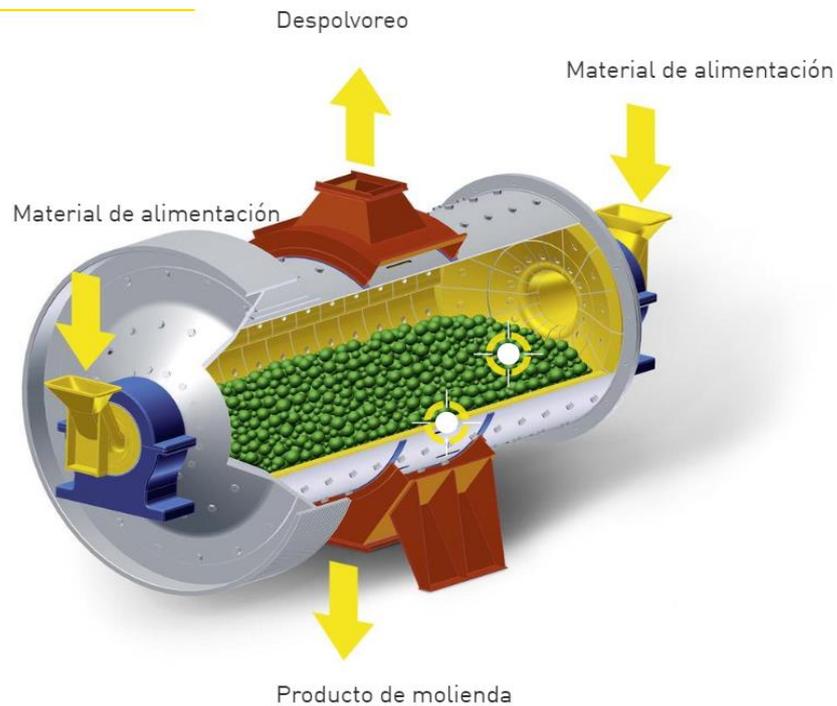


Fuente: Inga (2022)

Molino de bola

Los molinos de bolas se utilizan desde hace muchos años en las plantas de tratamiento de minerales metálicos y no metálicos (ver figura 3). El objetivo principal es lograr la reducción de tamaño a uno adecuado para que la mena pueda liberarse de la banda. El resultado final de un circuito chancador es la potencia suministrada a un molino de bolas. La eficacia del proceso posterior se ve afectada por la calidad del producto final, por lo que no puede ser ni demasiado grueso ni muy fino. En la mayoría de los casos, se utilizan agua y reactivos químicos como hidróxido de calcio (cal) para regular el pH, depresores y un reactivo especial adaptado al mineral que se está procesando para llevar a cabo el proceso de molienda conocido como "molienda".

Figura 2.
Estructura general del molino de bola



Nota: Arias y Villacrés (2022)

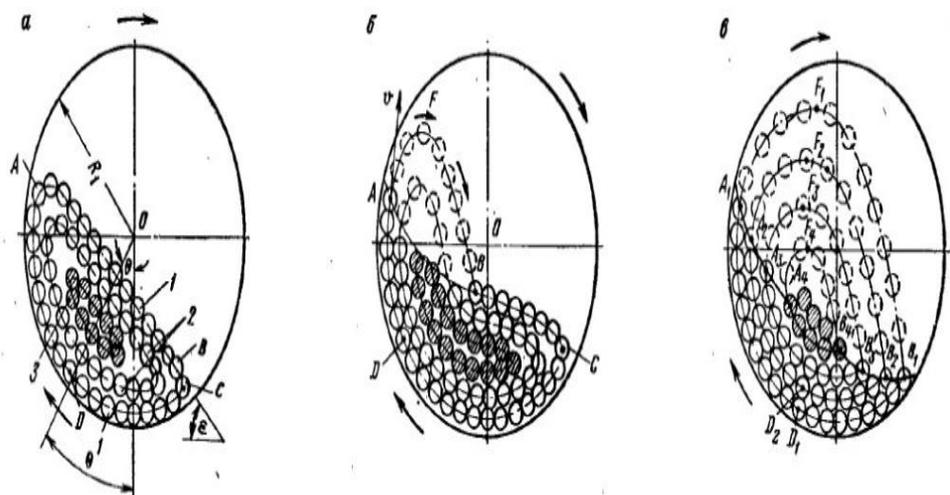
Una carga de bolas de acero dentro del molino suele ocupar entre el 30% y el 45% del volumen interno del molino. Esta carga puede estar formada por esferas del mismo tamaño o por una mezcla de varios tamaños que permita obtener un resultado final adecuado. Existen relaciones matemáticas para determinar el tamaño óptimo de las bolas de molienda, que dependen de factores como el peso específico, el tamaño máximo y el tamaño final del producto del material que se introduce en el molino. El interior del cuerpo cilíndrico de un molino de bolas suele estar recubierto por una chapa metálica o de aleación, siendo el tipo más común una superficie ondulada de acero o manganeso. El diseño adecuado del revestimiento es crucial para elevar la carga.

Una vez iniciada la rotación del molino de bolas, se añaden los minerales, el agua y los productos químicos necesarios. El mineral y el medio de molienda (bolas de acero) se mezclan constantemente mientras el molino gira. La reducción de tamaño se consigue cuando la carga se acerca a la abertura de descarga del molino de bolas. Obsérvese que el interior del molino experimenta dos movimientos principales: la cascada y la catarata (ver figura 4). En el

primero, las bolas tienen tendencia a reequilibrarse cuando alcanzan su nivel más alto posible, lo que hace que vuelvan a caer sobre las bolas inferiores y la carga. En el segundo, las bolas, al alcanzar su nivel más alto, tienden a saltar sobre las bolas y la carga situadas en un nivel inferior. En el primero, las partículas y las bolas están en continuo contacto, lo que conduce a una molienda y una reducción de tamaño más eficaces que en el segundo, cuando esta interacción se interrumpe. El movimiento adecuado de la carga dentro del molino es posible gracias al control del flujo de mineral y de la densidad de la pulpa.

Figura 3.

Cuerpos para molienda en regímenes de operación a) cascada, b) mixto, c) catarata.

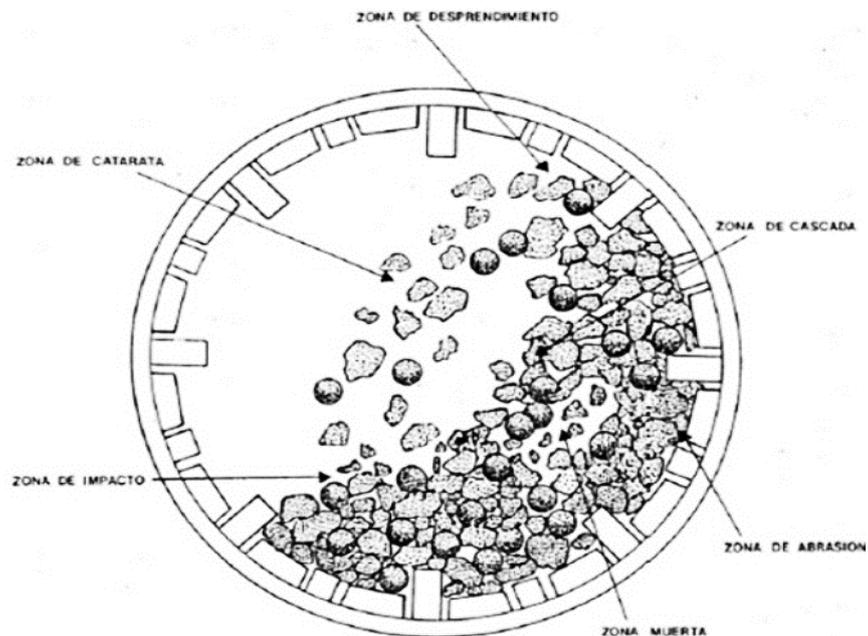


Nota: Inga (2022)

La salida del molino de bolas se recoge en una tolva bomba antes de ser enviada a un sistema de clasificación por tamaños compuesto por uno o varios ciclones, en función de la capacidad de la planta de tratamiento de minerales y del tamaño de partícula requerido para el proceso de concentración. El resultado final se denomina "rebose" y está formado por las partículas gruesas que se descargaron de la tolva inferior y se enviaron de nuevo al molino para volver a molerlas. La eficacia del proceso posterior (concentración) depende de la eficacia del ciclo de clasificación del molibdeno, que se repite una y otra vez durante el funcionamiento de la planta de tratamiento de minerales.

Figura 4.

Procesamiento de los minerales dentro del molino.



Nota: Inga (2022)

2.2.8 Principales partes de un molino de bolas

Estos elementos se pueden evidenciar de forma visual en la figura 6.

Casco: el almacén o casco del molino está fabricado con placas de acero forjado y soldado, lo que lo hace resistente a los impactos y a las cargas pesadas. Tiene orificios para extraer los clavos que sujetan la cubierta o las tablas del suelo. Las grandes bridas de acero, a menudo soldadas a los extremos de las placas del cráneo, tienen aberturas diseñadas para poder introducir los bozales en las cabezas de las mulas.

Tanto el casco como los paneles laterales pueden estar revestidos de diversos materiales, como decolloy, fundición blanca dura y strataglass y acero al cromo-molibdeno y acero al manganeso. Estos revestimientos son lo suficientemente gruesos como para proporcionar una larga vida útil y un desgaste constante sin reducir la productividad del molino de martillos.

Extremos: para diámetros inferiores a 1 metro, los extremos del molino (o las cabezas de los muñones) pueden ser de hierro fundido gris o nodular. Las cabezas más grandes suelen ser de acero forjado, que es a la vez ligero y soldable, lo que lo convierte en un material ideal para crear armas formidables.

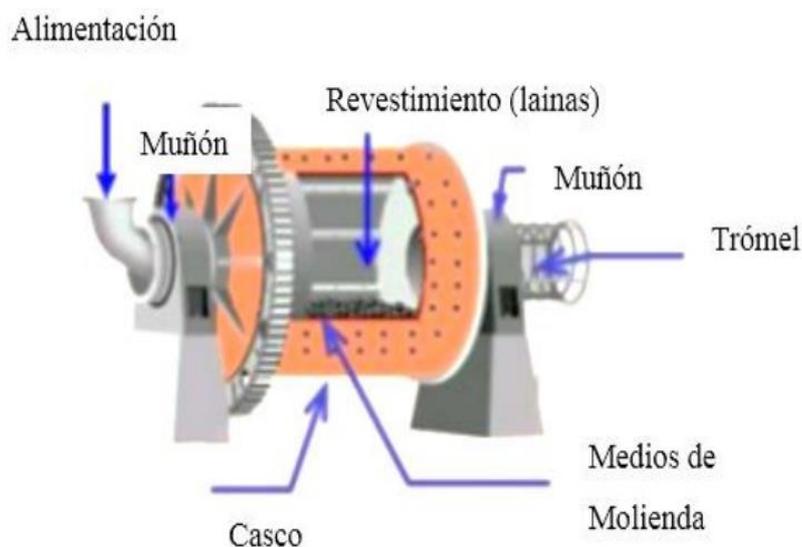
Reforzar las cabezas les causaría ansiedad. Los extremos de carga y descarga no están sometidos a impactos, sino que deben soportar la abrasión.

Revestimientos: Las caras de trabajo interiores del molino están recubiertas con revestimientos regenerativos que deben soportar los impactos, resistir la abrasión y facilitar el mejor movimiento posible de la carga. En la mayoría de los casos, los extremos de los rotores de los molinos de bolas están equipados con nervaduras de elevación para elevar la carga mientras el molino gira. Evitan el deslizamiento excesivo y alargan la vida útil del recubrimiento. Suelen fabricarse con hierro fundido blanco aleado con níquel y materiales resistentes a la abrasión, como el caucho. Los revestimientos de las mulas se adaptan a cada tarea, adoptando diversas formas, como patrones cónicos, superficies planas y espirales ascendentes y descendentes.

La sustitución del revestimiento de los molinos supone un gasto operativo importante, por lo que se están realizando esfuerzos para prolongar su vida útil. Algunas operaciones han pasado a utilizar alfombras en lugar de moqueta porque absorben mejor el ruido, duran más y son más fáciles de instalar. Sin embargo, a diferencia de los revestimientos de acero, se ha demostrado que aumentan el desperdicio de productos de limpieza. Además, los revestimientos de goma pueden tener dificultades en procedimientos que requieren temperaturas superiores a 80 grados centígrados.

Figura 5.

Esquema gráfico de las partes de un molino.



Nota: Inga (2022)

2.2.9 Factores que afectan la molienda

La eficacia de un molino de bolas depende de diversas variables. La densidad de la pulpa de alimentación debe ser lo más alta posible, permitiendo al mismo tiempo un flujo adecuado a través del molino. Es crucial que las bolas estén cubiertas con una capa de mena; una pulpa demasiado aguada aumenta el contacto metal con metal, lo que a su vez incrementa el consumo de acero y disminuye la eficacia. Dependiendo del material que se procese, el rango operativo de la pulpa del molino de bolas oscila entre el 65 y el 80% de sólidos. La viscosidad de la pulpa aumenta con el tamaño de las partículas, por lo que los circuitos de molienda de partículas finas pueden beneficiarse de densidades de pulpa más bajas.

La eficacia de la molienda es proporcional a la superficie del medio. Entonces, las bolas deben ser lo más pequeñas posible, y el peso debe distribuirse de forma que las más pesadas lo sean lo suficiente para triturar la partícula de alimento más grande y dura. Una carga bien equilibrada tendrá partículas de muchos tamaños diferentes, y las nuevas partículas que se añaden al molino suelen ser las más grandes que se necesitan. Las bolas pequeñas se pegan entre sí y pueden separarse haciendo pasar la descarga a través de arneses.

2.3 Definición de términos básicos

a) Molino de Bolas

Es un equipo diseñado para la molienda del mineral (piedra chancada) este realiza una reducción significativa de la piedra hasta un tamaño de $0.15 \text{ mm P80} = 140 \text{ a } 150 \mu\text{m}$

Consta de un cilindro giratorio revestido internamente con liners de protección que reciben el impacto de las bolas de acero en su interior. Arias y Villacrés (2020),

b) Mejora continua

Filosofía de trabajo cuyo sistema es mejorar las actividades diarias en términos de producción, calidad y seguridad invirtiendo u menor tiempo en los procesos de trabajo enfocando metodologías para la optimización deseada. (Agudo et al., 2017; Aldea, 2021).

c) Fallos

Mal funcionamiento en términos de producción, equivalente a averías, rotura de accesorios, daño del sistema de sensores y demás componentes que conforman

un equipo o máquina que impiden que funcione de manera correcta. (Canahua, 2021).

d) Reparaciones y cambios (Paradas de planta planificadas)

Conocer los tiempos de los procesos y sub procesos influye en los preparativos y cambios de elementos de los equipos en las diferentes paradas de planta planificada. Un trabajador sin objetivos de transición ni instalaciones adecuadas no puede reducir los tiempos (Landeros et al., 2019).

e) Paradas mecánicas

Conocer los fallos de las máquinas no es suficiente. Es importante saber qué causa estos retrasos. Entender los factores de los turnos es clave para ejecutarlos con éxito. Los operarios deben saber si la parada fue causada por personal sin experiencia, equipos defectuosos o falta de mantenimiento (Landeros et al., 2019).

f) Mantenimiento

La función principal del mantenimiento es mejorar la fiabilidad de la maquinaria y los equipos de una organización mediante el desarrollo, la aplicación y la evaluación sistemáticos de estrategias de atención preventiva. Existe una clara correlación entre la eficacia de los equipos y los procedimientos de mantenimiento (Guerra y Oca, 2019).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y tipo de la investigación

3.1.1 Método de investigación

En este estudio se utilizó una metodología deductiva, que consiste en realizar inferencias amplias a partir de premisas específicas, para deducir a través del razonamiento lógico, diversas suposiciones o conclusiones (Hernández y Mendoza, 2018).

El presente estudio tuvo un alcance descriptivo porque busca explicar las circunstancias, fenómenos y escenarios del tema de estudio tal como aparecen en el campo; esto contrasta con la afirmación de Hernández y Mendoza (2018) de que el alcance de la investigación no es un tipo de investigación sino un continuo de "causalidad" que puede tener un estudio.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño es el método utilizado para recoger los datos necesarios en un estudio; en este caso la investigación tuvo un diseño preexperimental, que se caracteriza por un bajo nivel de control experimental y que suele utilizarse como primer paso para resolver los hechos generados por el fenómeno. (Hernández y Mendoza, 2018)

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

El concepto de población hace referencia a la totalidad de objetos, sujetos o medidas con particularidades similares en un escenario e instante específico (Hernández y Mendoza, 2018), para el presente estudio, la población estuvo conformada por cuatro (04) molinos que operan en una unidad minera cuprífera en Arequipa.

3.3.2 Muestra

La muestra es considerada un subconjunto de componentes que corresponden al grupo definido como población, de la cual se adquiere la información (Hernández y Mendoza, 2018). Como los resultados de la muestra se extrapolarán al conjunto de la población, es fundamental que esté bien definida y delimitada para que sea representativa de la población. El propósito de este estudio fue conocer el estado de los molinos de bolas en la actualidad, por lo que el método de muestreo fue no probabilístico, por conveniencia, para ello se tomó el molino de bolas con mayor registro de fallos a lo largo del tiempo durante el último año de funcionamiento.

3.4 Recolección de datos

3.4.1 Técnicas

Las técnicas de recolección de datos representan las diferentes maneras o formas de conseguir información (Hernández y Mendoza, 2018). La recopilación de datos es una parte crucial en el desarrollo de este estudio. Estos datos permitieron poner a prueba las hipótesis, encontrar soluciones a las preguntas de investigación y cumplir los objetivos de estudio, todos ellos derivados de la investigación de la temática estudiada. Como técnica de recolección de datos en el estudio se utilizó la observación directa, análisis de contenidos, análisis dimensional, diseño y cálculo de fuerzas.

3.4.2 Instrumentos

Actualmente, los investigadores pueden utilizar todo tipo de métodos, desde encuestas hasta entrevistas y análisis de contenido, para obtener datos sobre el terreno. La revisión de contenido y la observación (registro fotográfico) se utilizaron para recopilar los datos de este proyecto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Determinación de la situación actual

Análisis de la organización

La unidad minera cuprífera es una de las organizaciones pioneras en la minería, su principal labor es la producción de cobre en Perú. Esta es operada por una corporación internacional, quien se encarga de las operaciones en los yacimientos de cobre, sulfuros secundarios, sulfuros primarios y los derivados de cobre de mayor abundancia como: brochanite, crisocola, malaquita y cobre "pitch", siendo los más importantes la calcosina y covellina.

Asimismo, con la inauguración de la segunda planta concentradora ha ampliado su capacidad de procesamiento por flotación de 120.000 TMD a 360.000 TMD, lo que proporciona la producción incremental anual de aproximadamente 600 millones de libras de cobre y 15 millones de libras de molibdeno. La planta de lixiviación tiene una capacidad de 40,000 TMD.

Diagrama de proceso productivo de la organización

Como toda organización, se concilia el diagrama de procesos de actividades desde el manejo y conciliación de la materia prima (extracción) y entrega del producto final para la exportación o manejo interno del país, en tal sentido se presenta la figura 6.

Figura 6.

Diagrama de flujo de proceso productivo del manejo del Cobre de la unidad minera cuprífera.

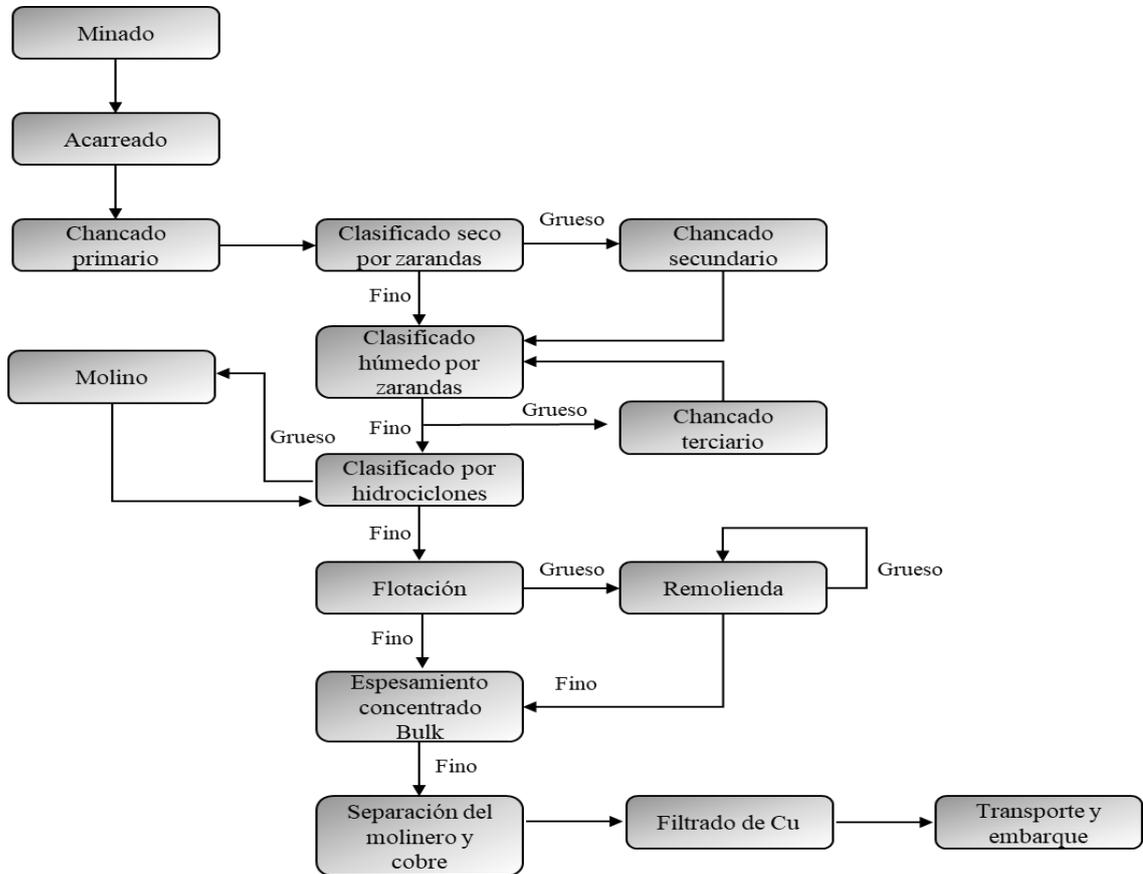
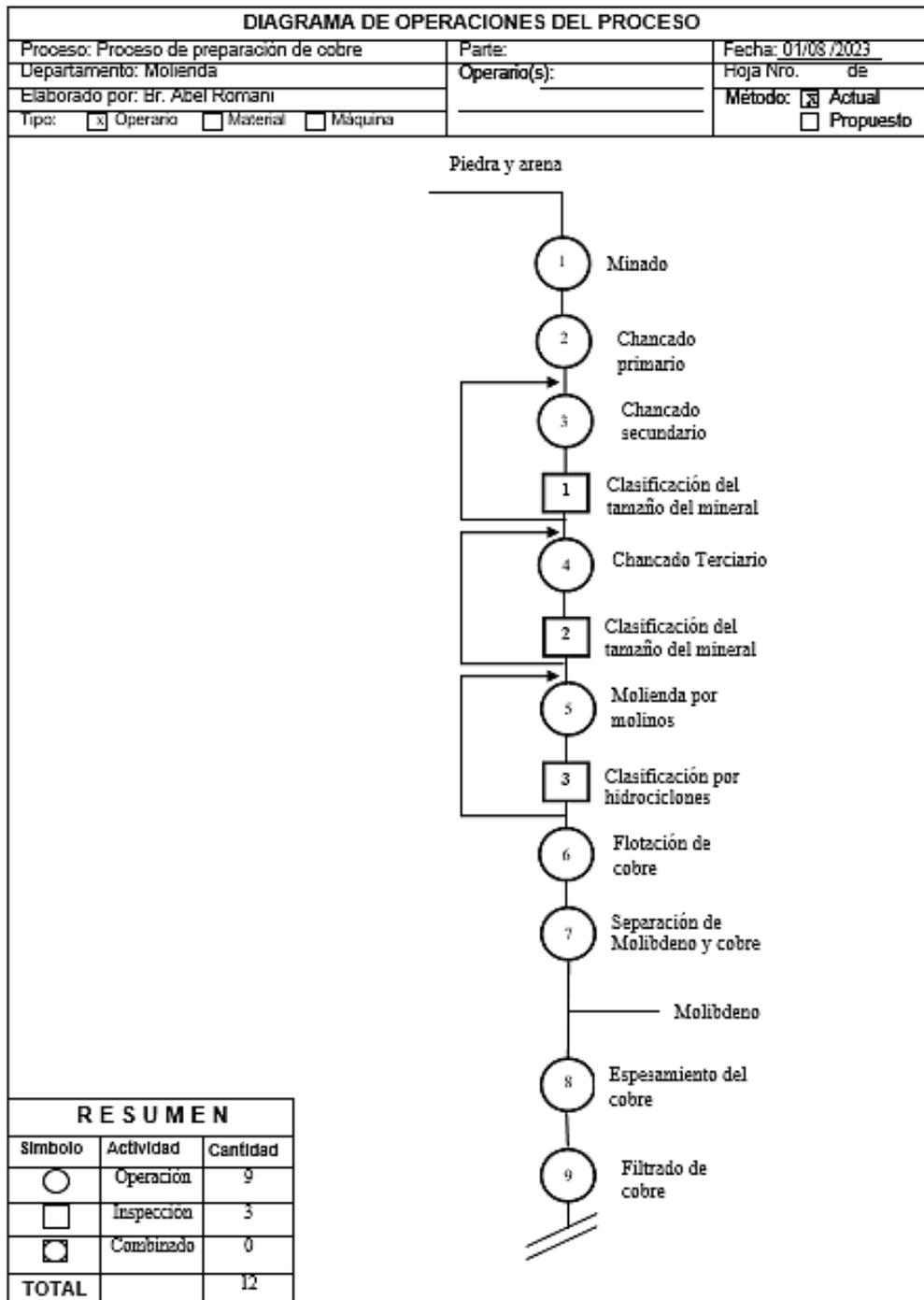


Diagrama de operaciones del proceso productivo de la organización

Manteniendo la línea general de la ingeniería de métodos para comprender el proceso productivo organizacional, se establece la figura 7, en ella se concilian las actividades operativas y de inspección que son las principales etapas dentro de dicho proceso. Asimismo, de forma general se presentan un total de 16 actividades donde 13 se concentran en las operativas y 3 en las actividades de carácter de inspección. En tal virtud, se presenta lo siguiente:

Figura 7.

Diagrama de operaciones del proceso productivo de la organización



Análisis del equipo molino de bolas

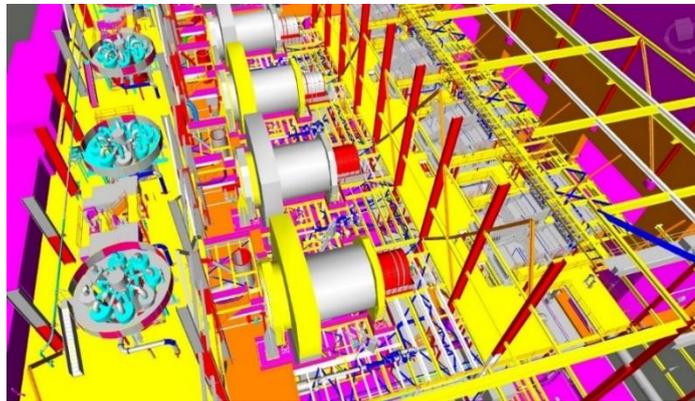
Dentro de la organización, el molino es un equipo rotatorio horizontal que tiene como finalidad minimizar las dimensiones del mineral por medio del movimiento de bolas de acero forjado. Este equipo se esboza por medio de un cilindro horizontal de 8.2 metros

de diámetro y 14.6 metros de dimensionamiento longitudinal, teniendo de forma interna un revestimiento compuesto por liners y lifters, en su entrada se concilia un chute móvil y la descarga con un trunnion magnético, además, posee un sistema de accionamiento por medio de un motor anular tipo gearless de 22,000 Kw., un sistema hidráulico de lubricación y un sistema de frenado.

Estos equipos son elementos que reciben flujo de minerales, UF de batería de ciclones, bola de molino y agua de procesos de los chutes de alimentación (figura 9). El flujo de mineral resultante del proceso de molienda es descargado sobre trampas parrilla de descarga.

Figura 8.

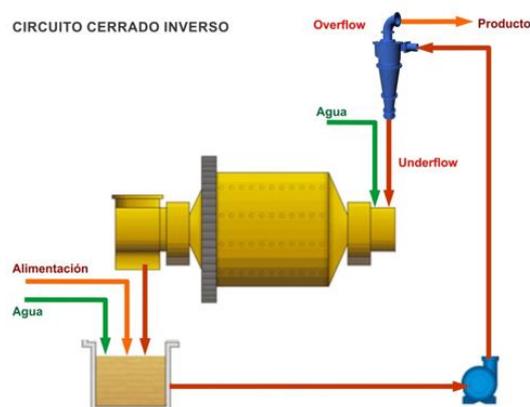
Vista de los molinos de bola



Nota: Manual de Operaciones -Planta Concentradora. Área 3300 – Molienda y Clasificación.

Figura 9.

Ingresos y salidas del molino de bola de la organización



Nota: Manual de Operaciones -Planta Concentradora. Área 3300 – Molienda y Clasificación.

En términos de funcionamiento, el agua de proceso, el mineral y los medios de molienda se introducen en la entrada del molino, donde son molidos y desgastados abrasivamente por el movimiento de rotación del molino y los revestimientos. Los revestimientos del molino elevan las bolas y muelen el material, lo que produce una molienda gruesa causada por la caída de las bolas y una molienda fina causada por el movimiento relativo del lecho de bolas. El muñón magnético separa las bolas y los fragmentos de bolas del producto final cuando éste sale del molino tras el proceso de molienda.

Identificación de problemas

Los desperdicios implicados en el proceso operativo del molino son generados por:

- **Paros mecánicos:** debido a que las paradas de maquinaria resultan una militancia en la correcta operación del molino. Es por ello que resulta sustancial reconocer e identificar las fuentes que originan las fallas, más allá de las causas de la detención de la operación del equipo. Por otro lado, los operarios deben conocer las implicancias respecto a la deficiencia en los equipos, los cuales a largo plazo generan atrasos y/o ausencia de mantenimiento.

Figura 10.

Paro mecánico en Concentradora - unidad minera cuprífera



- **Cambios y preparaciones:** debido a la falta de capacitación y conocimiento al momento de desarrollar cambios en la máquina, o por la carencia de implementos que faciliten la ejecución óptima del trabajo, lo cual no permite que los tiempos en mantenimiento se minimicen. Es por ello que resulta esencial que la parte supervisora y administrativa de los empleados como encargados y directores de planta estén informados sobre los tiempos de cambio.

- Esperas y paradas menores: estos generan a largo plazo, problemas mayores en costo y tiempo, ya sea paradas estándar o las más cortas o de pequeña envergadura. Todas influyen en los indicadores de mantenimiento a largo plazo.

Figura 11.

Parada menor – Molino de bolas

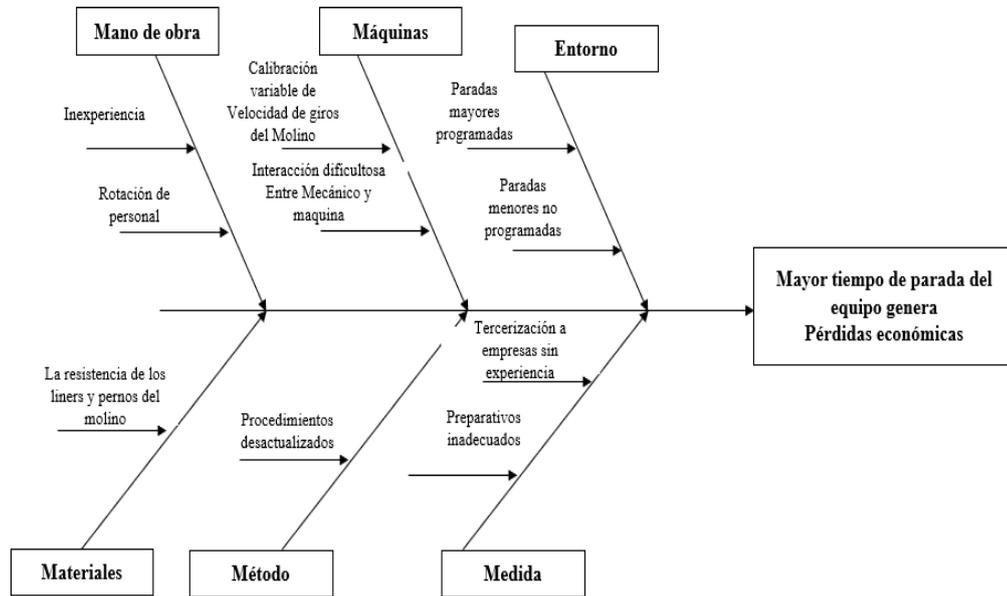


- Reducción de velocidad de operaciones: al tener todos los implementos para ejecutar un trabajo de mantenimiento, la velocidad de operación favorece la productividad del molino. Esto debido a la motivación por parte de los trabajadores durante los trabajos de mantenimiento en parada. De esa manera, la productividad mejora.
- Retrabajos y rechazos: no resulta suficiente identificar las pérdidas. Es de menester importancia conocer las causas que originan las mismas. Ya que sobre estas se plantearán las mejoras.
- Pérdidas en los cambios: resulta provechoso para las empresas ejecutar cambios en los procesos de arranque o ajuste de molino. Esto se evidencia en la preparación rutinaria de arranque durante un turno. Es decir, simplificando el contexto, al momento de abordar un cambio de Liner de mala manera, se puede perder las cualidades intrínsecas de las paredes del molino durante el funcionamiento posterior al mantenimiento.

Para el establecimiento de la problemática elemental de estudio, se identificaron las causas raíz principal de la problemática, en tal sentido, las mismas se plasman en el siguiente diagrama de Ishikawa expresado en la figura 12.

Figura 12.

Diagrama de Ishikawa.



Con relación a lo anterior, se pudo identificar las principales causas raíz que contribuyen a las paradas no programadas y que generan pérdidas económicas en una unidad minera cuprífera en Arequipa. Tras una evaluación de la situación de la unidad minera, se identificaron y priorizaron las causas raíz más críticas que contribuyen a las pérdidas económicas. La tabla 3 muestra los datos obtenidos:

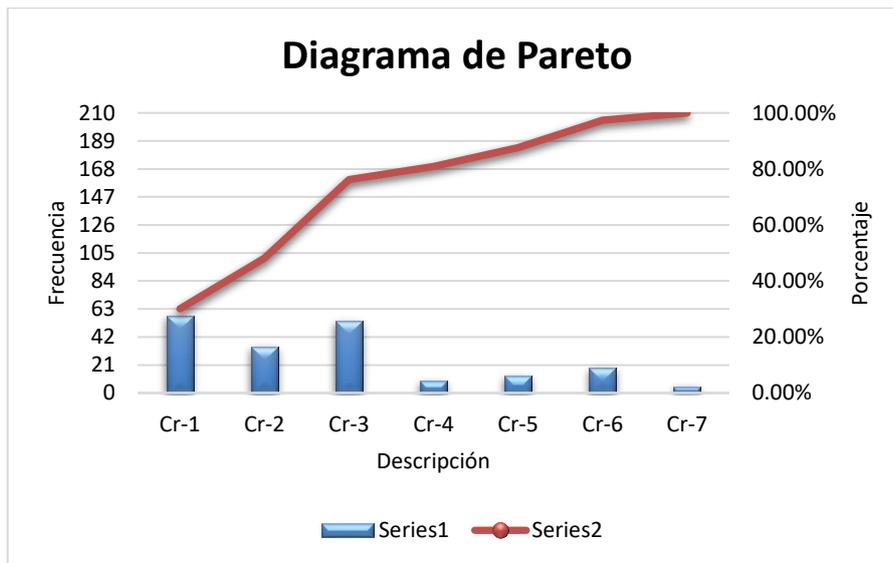
Tabla 3
Análisis de causa raíz

Causa raíz	Descripción	Frecuencia de priorización	%	Frecuencia acumulada	% acumulado
Cr-1	Costos de parada mayor	58	30.05%	58	30.05%
Cr-2	Paradas menores no programadas	35	18.13%	93	48.18%
Cr-3	Tercerización	54	27.98%	147	76.16%
Cr-4	Resistencia de Liners y pernos	9	4.66%	156	80.82%
Cr-5	Reducción de velocidad de operaciones	13	6.74%	169	87.56%
Cr-6	Procedimientos sin actualizar	19	9.84%	188	97.40%
Cr-7	Paros mecánicos recurrentes	5	2.59%	193	99.99%
TOTAL		193	100.00%		

Asimismo, el mayor porcentaje obtenido en el cálculo fue de 30.05 %, lo que indica que la unidad minera cuprífera presenta altos costos de parada. Los problemas más comunes y sus causas raíz en la unidad minera cuprífera en Arequipa se detallan en la tabla anterior, junto con la frecuencia de priorización y el porcentaje de ocurrencia.

Figura 13.

Diagrama de Pareto en la unidad minera cuprífera.



A partir de los datos presentados en la Tabla 3, aplicamos la Ley de Pareto de la división 80/20 para priorizar los problemas subyacentes que explican el 80 % de la problemática de las paradas no programadas y pérdidas económicas en una unidad minera cuprífera en Arequipa (véase figura 3). Esta herramienta permite determinar que el 20 % de la problemática que repercute en el 80 % restante de funcionalidad se debe a los costos de parada mayor, esperas y paradas menores no programadas, tercerización por mto. los cuales deben ser prioridad para dar solución.

En este sentido, siendo estos los principales puntos de la problemática que presenta la organización, la intención del presente estudio es optimizar el cronograma de paradas y la reducción o eliminación de las pérdidas económicas. Dado que estos procesos se gestionan de forma inadecuada, es difícil evaluar el estado actual de las cosas y tomar decisiones acertadas que conduzcan a un progreso constante de la unidad minera cuprífera en su conjunto.

Identificación del trabajo de mantenimiento de cambio de Liners de tapa

Dentro del devenir procedimental del mantenimiento y sustitución de los Liners de tapa del molino de bola crítico, se observa las siguientes caracterizaciones del proceso:

- El tiempo de duración de parada de molino por mantenimiento rutinario de Liners de tapa es de 50 horas.
- En el tiempo de mantenimiento, 10 de las 50 horas establecidas es abordado para el armado y desarmado de andamios estructurales para que los operadores logren alcanzar la zonificación de los Liners de tapa.
- Por cada mantenimiento se establecen 5 giros del molino para la revisión y sustitución de Liners, es decir, que por cada giro se arma y desarma las estructuras de andamios dividiendo el armado entre aproximadamente 2 horas por giro (lo que equivale a las 10 horas de manejo de los andamios).
- Si bien es cierto, se evidencia exceso de tiempo por el acoplado estructural de los andamos, este procedimiento representa a su vez riesgos a los trabajadores.

Estas condiciones de trabajo se evidencian en la siguiente figura:

Figura 14.

Manejo de andamios para mantenimiento de Liners



4.2 Análisis y determinación de las fallas que inciden en la generación sobre los tiempos de trabajo y altos costos en el mantenimiento de los Liner de tapa de molino de bola

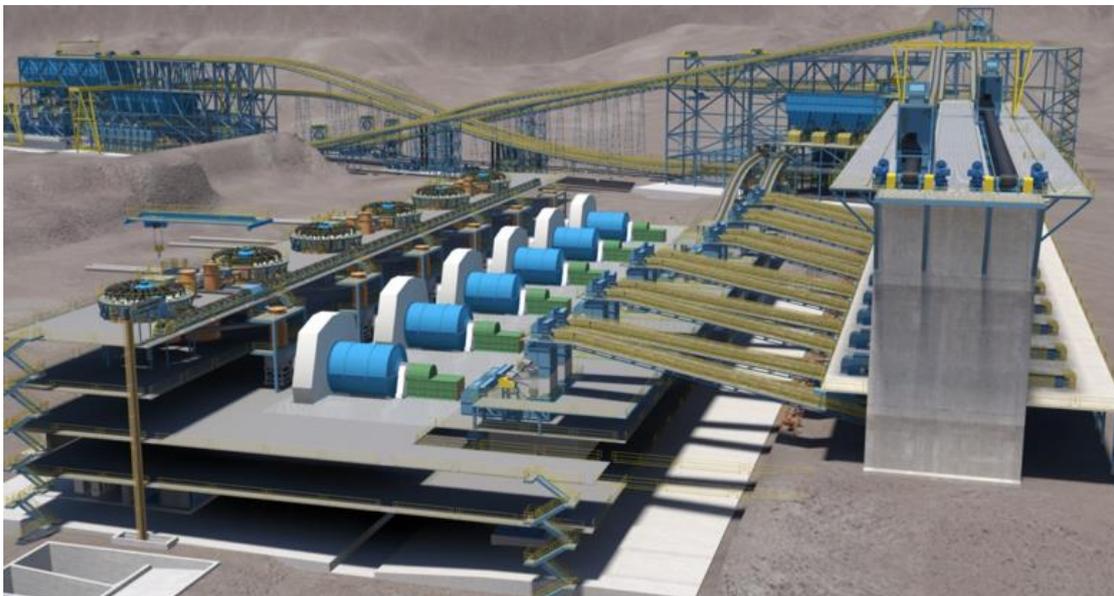
4.2.1 Molinos de concentradora – Unidad minera cuprífera

El molino de bolas de concentradora cuenta con 06 molinos de bolas de la marca Polysius de 27' x 48' (8.2m x 14.6m) y tiene una capacidad de procesamiento de 280.000 TMF.

El molino es un equipo rotatorio horizontal que disminuye el tamaño del mineral mediante el uso de bolas de acero forjado. Consiste en un cilindro horizontal de 8.2mt de diámetro x 14.6mt de longitud, revestido internamente con Liners y lifters, la entrada cuenta con un chute móvil y la descarga con un trunnion magnético, además de un sistema de accionamiento a través de un motor anular tipo gearless de 22,000 Kw, un sistema hidráulico de lubricación y un sistema de frenado.

Figura 15.

Concentradora – Área de Molienda



Nota: Manual de Operaciones

Los molinos de bolas son equipos que reciben el flujo del mineral concentrado del Under Flow de batería de ciclones a través de chute de transferencia, las bolas metálicas por una canaleta de descarga alimentada por una faja y el agua de proceso por sistema de tubería conectado a la alimentación del molino. El mineral molido es descargado por la zona de la trampa parilla (spider), este atrapa las bolas metálicas dejando pasar el flujo del concentrado sobre la zaranda estática.

Con respecto al funcionamiento, el agua del proceso, la cal, el mineral y las bolas de molienda ingresan por la entrada del molino; en el interior del molino se realiza la trituración y abrasión debido al movimiento giratorio, al diseño y la disposición de los revestimientos del interior del cilindro.

Los revestimientos del interior producen que el material a ser molido y las bolas metálicas se levanten, consiguiendo así una trituración a base de los golpes por las bolas que caen y una molienda fina por el movimiento relativo en el lecho de bolas.

El producto de esta molienda, que contiene bolas y trozos de bolas, se separan al momento de salir del molino por el trunnion magnético.

Figura 16.

Equipo de Molienda



Bajo la técnica del TPM los desperdicios en la Planta de Molienda, utilizando el criterio de los expertos se priorizaron los siguientes desperdicios:

Tabla 4

Priorización de desperdicios según técnica TPM

Priorización de Desperdicios
Desgaste del revestimiento de parrilla
Desperdicio de Pulpa
Desgaste de los Liners de tapa

Nota: Aguilar (2020)

4.2.2 Desgaste del revestimiento de parrilla de descarga

Existen dos variedades distintas de revestimiento para proteger al molino del desgaste durante las operaciones de molienda, como son:

- Liners de tapas: tipo anillo externo – interno y se localizan en la tapa de alimentación y en la tapa de descarga del molino.
- Liners de Shell: existen los que son del tipo anillo de entrada, anillo medio y anillo de salida, dentro de los cuales existen 6 tipologías.

Tabla 5

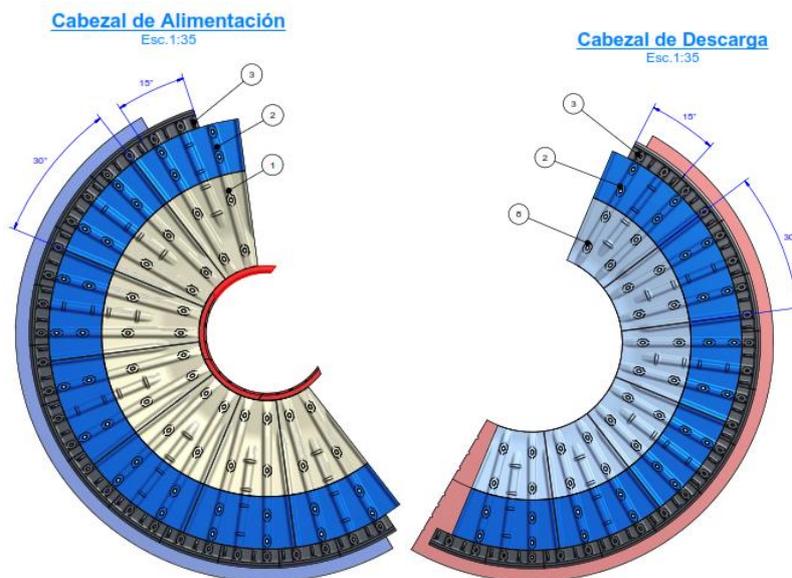
Tipos de liners para Molino con Bolas

Liners	Tipo	Cantidad
Tapa	FE Inner Liners (FR)	12
	FE-DE Outer Liners (FE-DE)	24
	DE Inner Liners (DE)	12
Shell	Filler rings	48
	Shell Liners (S)	144
Trunnion	Trunnion Liners	8

Nota: Aguilar (2020)

Figura 17.

Liners de tapas alimentación y descarga



Nota: Plano de molinos.

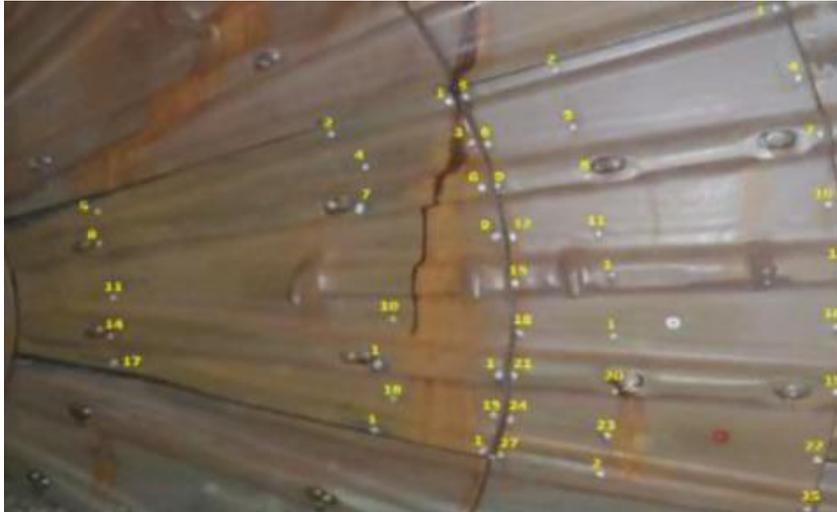
4.2.3 Desperdicios – operación de molienda concentradora

El principal problema generado, es en los Liners, por el desgaste de la molienda de material. Generalmente estos Liners tapa tuvieron una duración de 8.1 meses, generando una producción de 10,200,549 TN.

Aguilar (2020) menciona que, la zona de mayor desgaste en los Liners tapa se da en la unión inner – outer, lo cual, con el paso del tiempo debido a la operación de molienda, genera su desgaste.

Figura 18.

Desgaste en los Liners

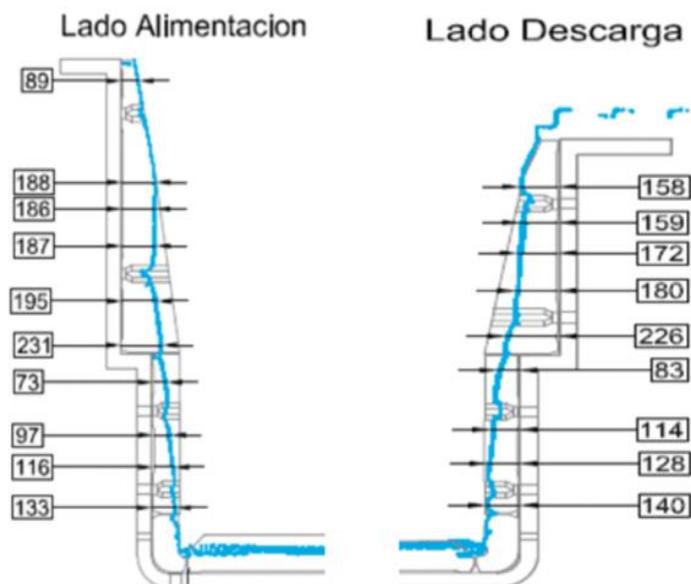


Nota: Reporte desgaste Liners molino

Por otro lado, a partir de un escaneo en las placas, se identificó los puntos de desgaste en las tapas. Identificándose las zonas de mayor incidencia de carga.

Figura 19.

Desgaste en tapas de alimentación



Nota: Reporte desgaste Liners ML101 por escaneo Mto. Predictivo C2.

Asimismo, en la figura 19 el escaneo de los revestimientos, se muestran los datos sobre el desgaste de los Liners, estos son los valores obtenidos de medición de los espesores en cada punto en todos los revestimientos del molino (Liners de tapas de alimentación, descarga y el cilindro o Shell), la línea azul muestra el desgaste de los revestimientos, y las zonas de mayor incidencia de la carga.

4.3 Propuesta de mejora de mantenimiento

La propuesta a implementar fue una plataforma tipo andamio, en ese sentido para mitigar las falencias establecidas en el incido diagnóstico se establecerá siguiendo la metodología PHVA, siendo esta una estrategia interactiva de resolución de problemas para mejorar procesos e implementar cambios. El ciclo PHVA es un método de mejoras continuas. No es un proceso que se ejecuta una sola vez, sino un espiral continuo que busca mejorar los procesos e iteraciones.

4.3.1 Planificación

La unidad minera cuprífera, requiere la verificación de la propuesta para la plataforma de cambio de Liners tapa de molinos de bolas, para lo cual se desarrolla la memoria de cálculo del equipo y corroborará el correcto funcionamiento de los elementos de la plataforma de elevación sometidos a las cargas máximas, mediante simulación estática con ayuda del software de cálculo SAP2000 e Inventor profesional 2022.

Figura 20.

Molino de bola sin plataforma fija tipo elevador



Figura 21.

Esquema general del molino de bola e incorporación de plataforma

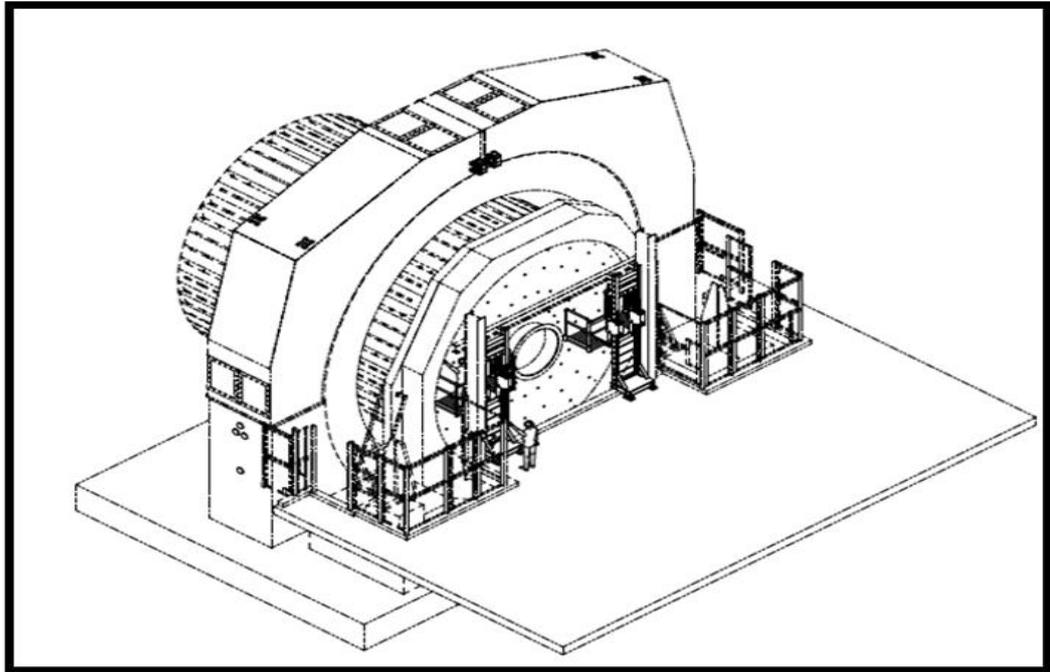
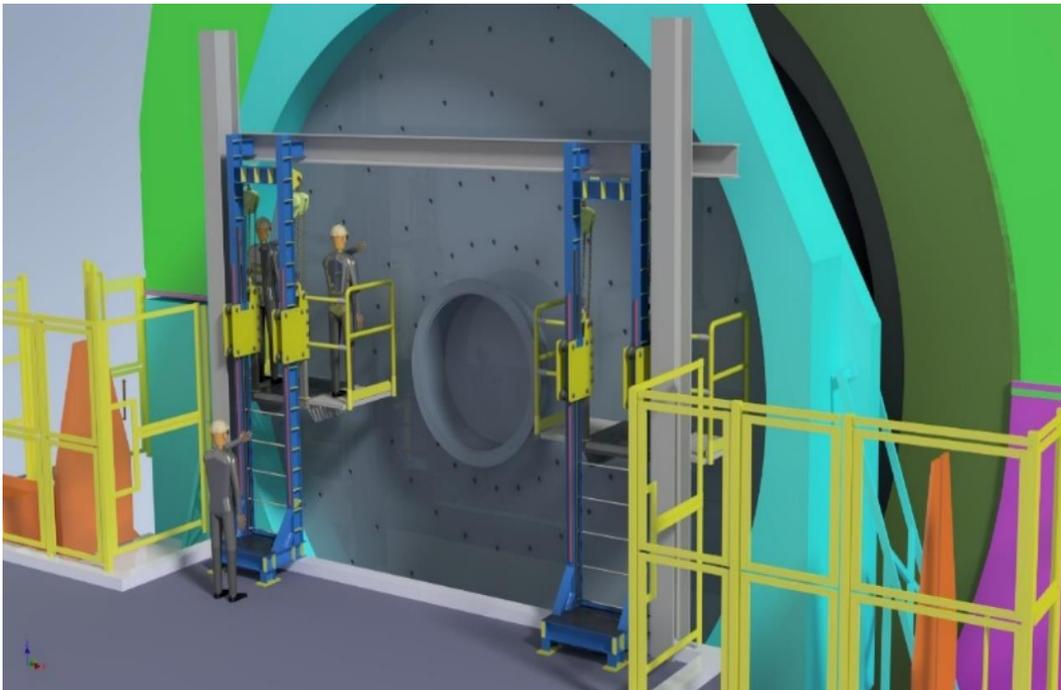


Figura 22.

Previsualización de posicionamiento de plataforma en el molino



El objetivo de esta propuesta de mejora de mantenimiento es en primera instancia optimizar los tiempos de mantenimiento sin la necesidad de tercerizar el proceso de tal forma que la misma cuadrilla de mantenimiento establecida dentro de la organización pueda realizar el proceso. Asimismo, la propuesta establece la verificación del correcto funcionamiento de la plataforma de elevación para el cambio de Liners tapa del molino de bola. Consecuentemente, también la propuesta promueve la verificación del correcto funcionamiento de la estructura principal de la plataforma, correcto funcionamiento de los mecanismos de elevación (barra redonda y oreja de sujeción), correcto funcionamiento de la oreja de sujeción para el teclé y la validación del diseño por medio de elementos asistidos por computador (SAP200 e Inventor 2022). Consecuentemente, se presenta la diagramación isométrica de la plataforma de elevación fundamentada sustancialmente por la norma AISC 360-16, la cual brinda las especificaciones para construcciones de acero estructural, AISC LRFD 93 que hace referencia a la asociación americana de construcción en acero y AISI. Consecuentemente, dentro de los parámetros básicos de diseño, se concilian los siguientes materiales establecidos en la tabla:

Tabla 6

Materiales empleados en la mejora del mantenimiento de Liners de tapa

Material	Esfuerzo de fluencia (Fy)	Esfuerzo último (Fu)
ASTM A36	36 Ksi	58 Ksi
SAE 1045	57 Ksi	90 Ksi
ASTM A572	50 Ksi	65 Ksi

Asimismo, la estructura posee 5 perfiles elementales que describen la sección de vigas H, planchas, canales C, barras redondas y ángulos, las mismas se encuentran abordadas bajo los siguientes materiales A572, A36, A36, SAE 1045 y A36 respectivamente.

Aunado a lo descrito anteriormente, se abordaron recursos suficientes para el logro de la implementación de esta estructura, en tal sentido, se tomaron en consideración 8 recursos necesarios para el mismo fin como los materiales estructurales, los consumibles, la mano de obra, equipos y herramientas,

equipos de seguridad, gastos por transporte acabados y otros como líquidos. Cabe destacar que estos recursos para lograr el proyecto se evidencian en el anexo 4.

En el anexo 5 se muestra el diagrama de Gantt utilizado para ayudar en la planeación y ejecución de las etapas del proyecto. Asimismo, se observa cuánto tiempo se prevé dedicar a cada actividad, las barras horizontales de distintas longitudes indican las tareas a lo largo de una escala de tiempo. Además, cuando se conectan varias barras horizontales, se muestra que una tarea sigue directamente a otra y no puede completarse hasta que la primera esté terminada.

4.3.2 Hacer

Descripción de la estructura

El equipo consta de una estructura principal conformada por vigas H canales C y planchas A36 además de una plataforma conformada por tubos cuadrados canales C y tubos redondos, el sistema de elevación consiste en la instalación de un tecle que permite subir y bajar la plataforma tal como se muestra en la figura 25. Se realizará un análisis de la columna principal que es la estructura que soporta toda la carga de la plataforma más el peso de las personas. También se hará el cálculo de la oreja de sujeción del tecle conformada por plancha A36. Asimismo, se realiza el cálculo de los componentes del mecanismo de elevación que une la plataforma con las cadenas del tecle.

Figura 23.

Plataforma de elevación

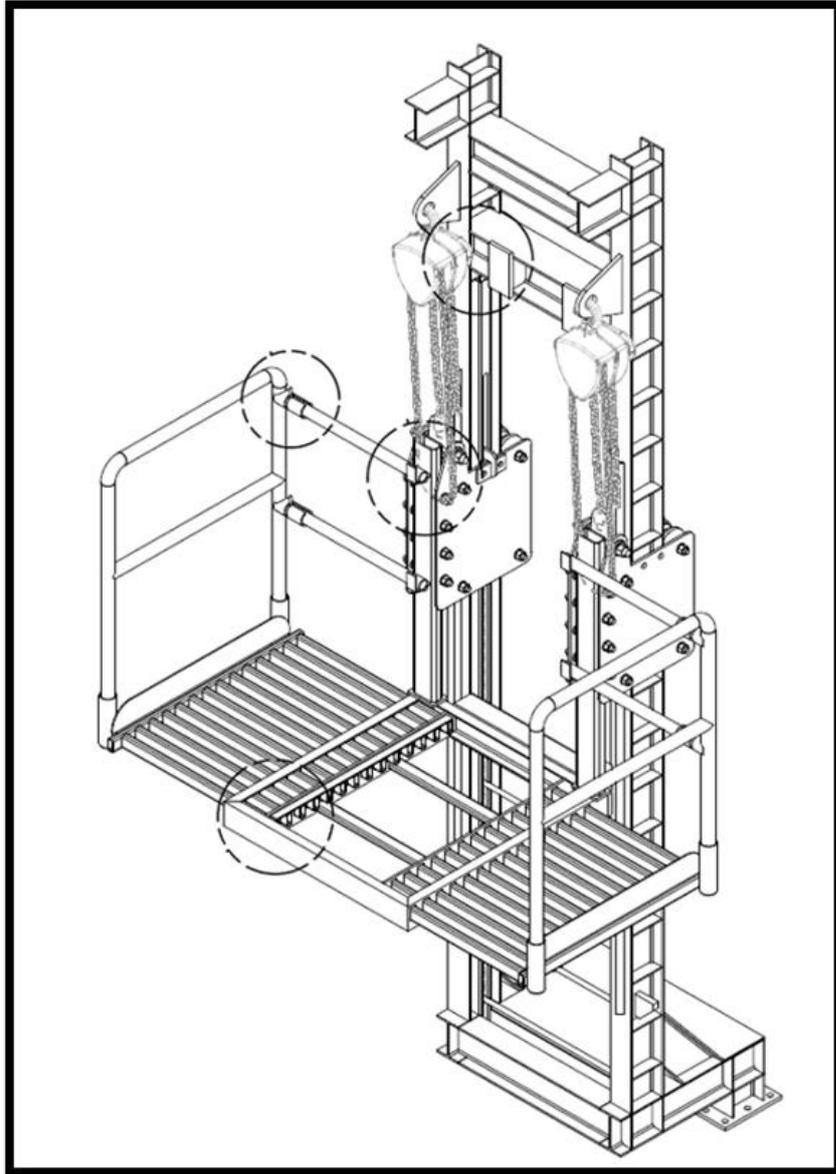
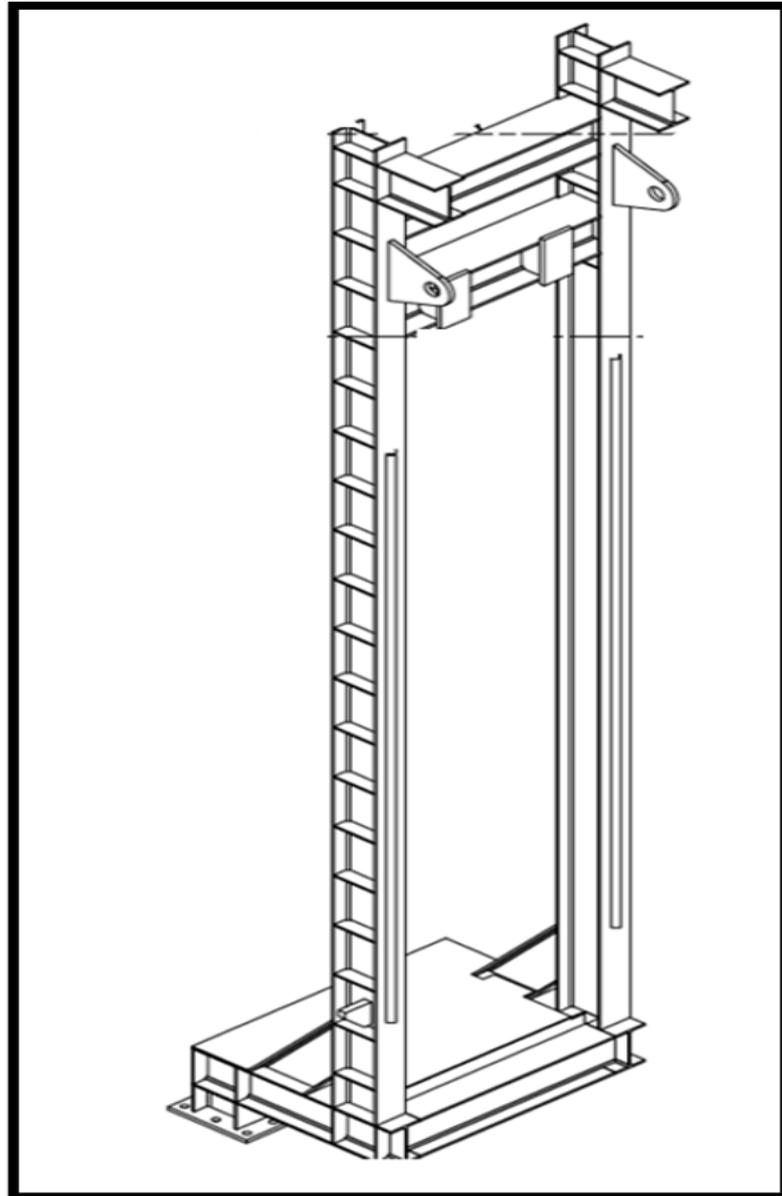


Figura 24.

Estructura principal



Cargas del diseño

Dado que las condiciones de la plataforma cumplen una función netamente de soportar el peso total equivalente a dos personas, el peso de la plataforma propiamente dicho, el peso de las barandas y los equipos a utilizar para realizar el respectivo cambio de Liners para el molino de bolas. En tal sentido, la estructura presenta una carga muerta de la estructura propiamente dicha de 737 KgF. Se consideró la aplicación total de una fuerza de $F=6000$ kg, que vendría a ser la suma de los pesos de las personas encargadas del mantenimiento, el peso

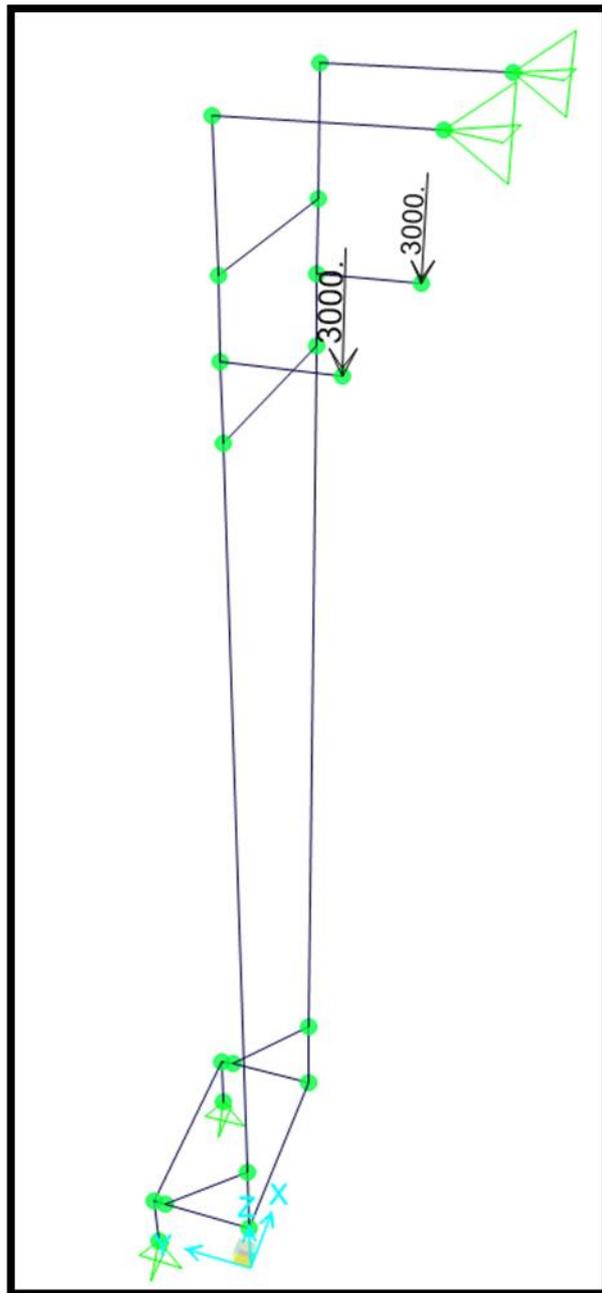
de la plataforma y sus barandas, más los equipos a utilizar para realizar el mantenimiento del molino de bolas.

Asignación de cargas

Siendo fundamentado en los mantenimientos rutinarios ya establecidos dentro de la organización, se asignan las cargas anteriormente indicadas como se muestra en la figura 25.

Figura 25.

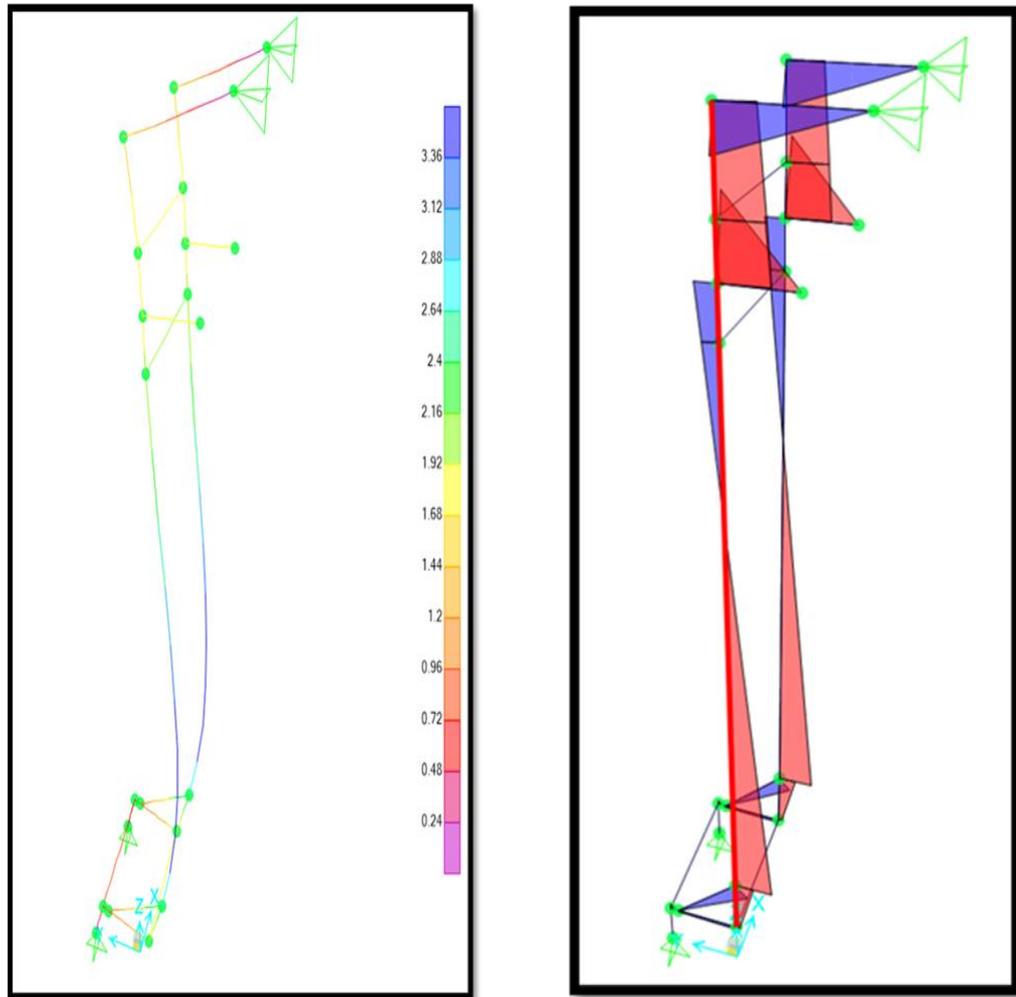
Asignación de cargas y restricciones estructurales



Verificaciones de la estructura

Figura 26.

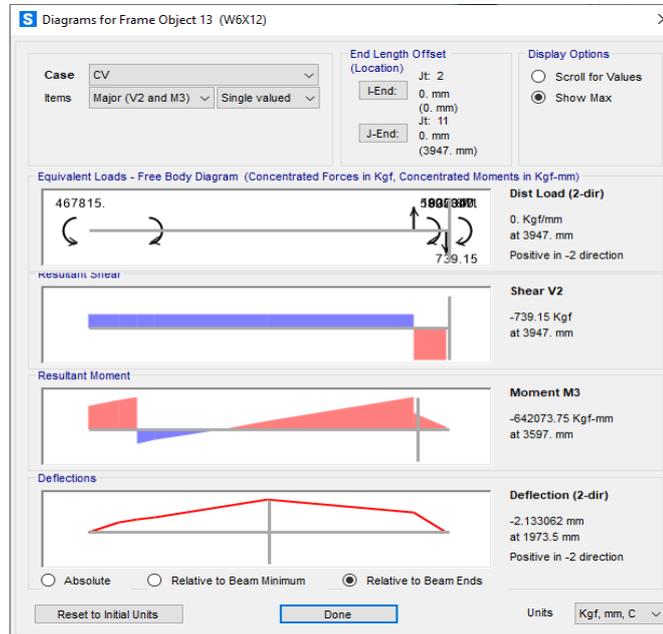
Desplazamiento por cargas de servicio (mm) y momentos de la estructura principal



Asimismo, para la etapa de verificación de la mejora por medio de la estructura tipo elevador para realizar los mantenimientos rutinarios de los Liners de tapa de los molinos de bola pertenecientes a la población de estudio, se verifican los esfuerzos cortantes y momentos, así como la deflexión por cargas de servicio en 2.1 mm. Para ello, se presenta la siguiente figura de la simulación asistida por computador para los diagramas cortantes y momentos.

Figura 27.

Diagrama de corte y momentos

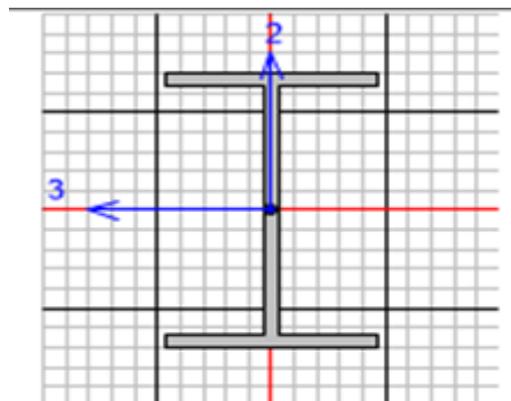


Verificación de la resistencia

La columna principal trabaja a una ratio máxima de 0,339 lo cual está muy por debajo del límite de esfuerzo máximo, por lo que la sección es adecuada. Esta etapa es elemental en la mejora, dando continuidad con el ciclo PDCA, la etapa de verificación siempre será crucial para la sostenibilidad, mantenibilidad, eficiencia y efectividad de todo proceso de mejora, en tal virtud, para establecer la resistencia de la plataforma, se presenta una hoja de cálculo donde se establecen las fuerzas axiales y biaxiales de los momentos del diseño (ver anexo 2).

Figura 28.

Esfuerzos.

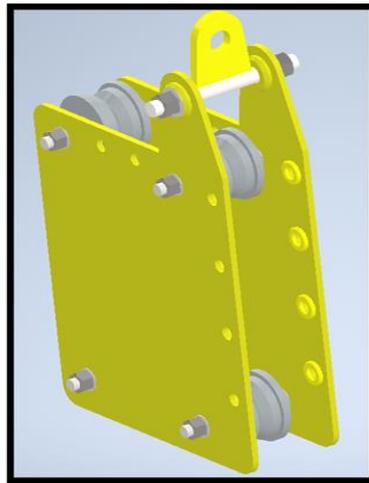


Elementos mecánicos de anclaje de la plataforma

El mecanismo de anclaje de la plataforma consiste en una oreja de planchas A36, una barra redonda de acero AISI 1045 y planchas de acero A36 tal como se muestra en figura 29. Se aislará la barra lisa y la oreja para hacer el análisis más detallado.

Figura 29.

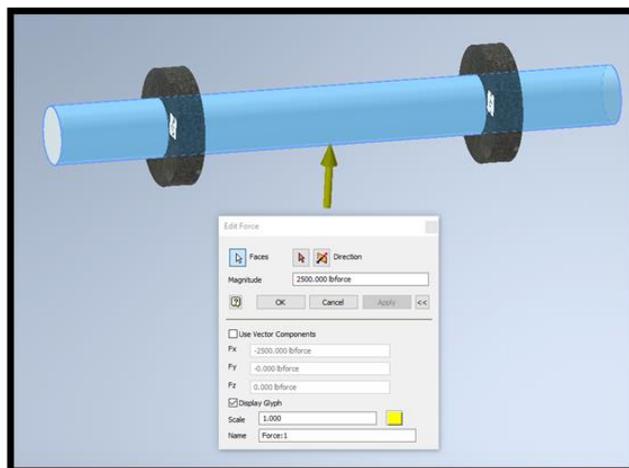
Mecanismo de anclaje y elevación



Es menester el análisis estático para la barra redonda y la oreja de sujeción ya que ambos son los que soportan directamente toda la carga aplicada sobre la plataforma. Asimismo, se asigna la carga de modo que actúe en el centro de la barra redonda y restringida por dos puntos que representan a las planchas de los costados tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30.

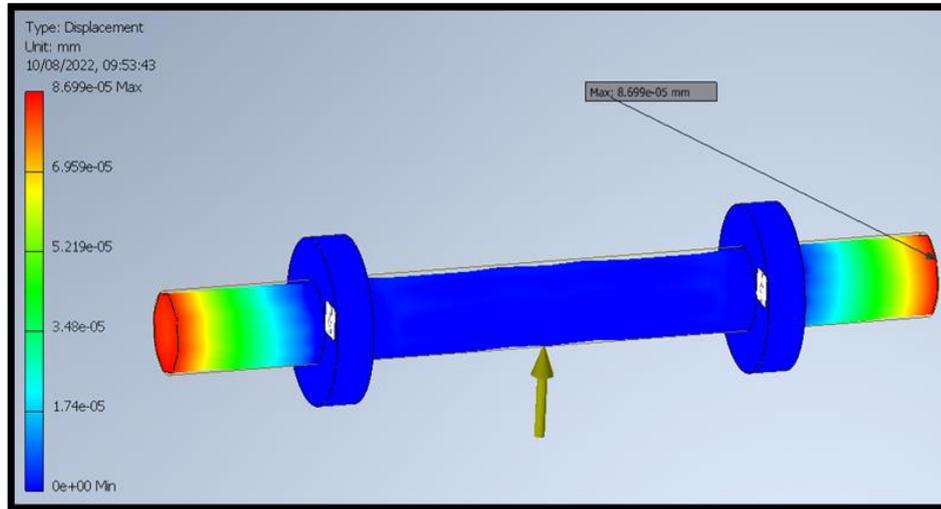
Asignación de cargas y restricciones



Verificación de diseño

Figura 31.

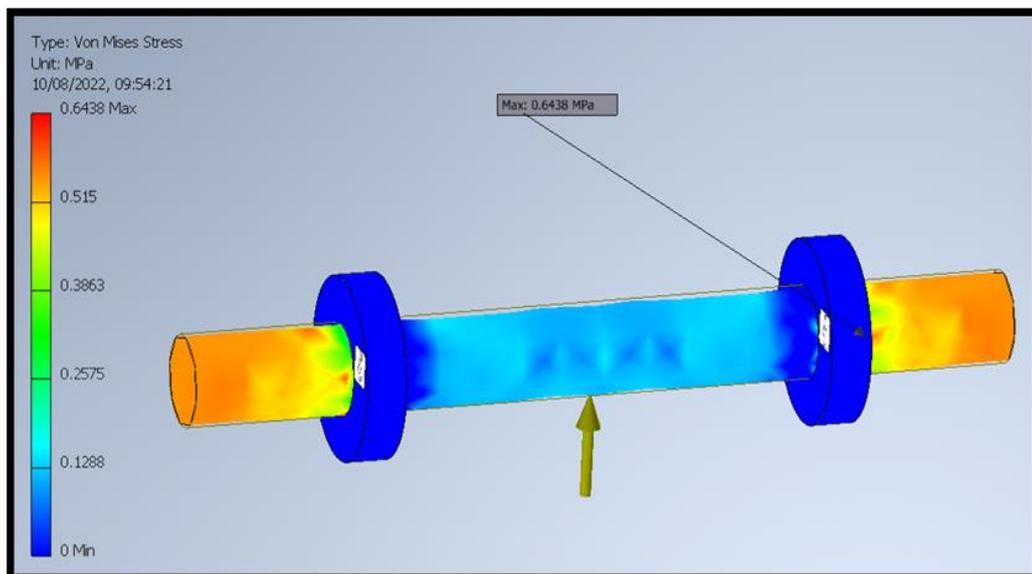
Desplazamiento por cargas de servicio



Dentro de la verificación del diseño también se establece la resistencia por carga de servicios, es decir, el esfuerzo Von Mises permitido máximo, que por medio de la simulación asistida por computador previo a la estructura arroja un valor de 0.6438 MPa.

Figura 32.

Esfuerzo Von Mises

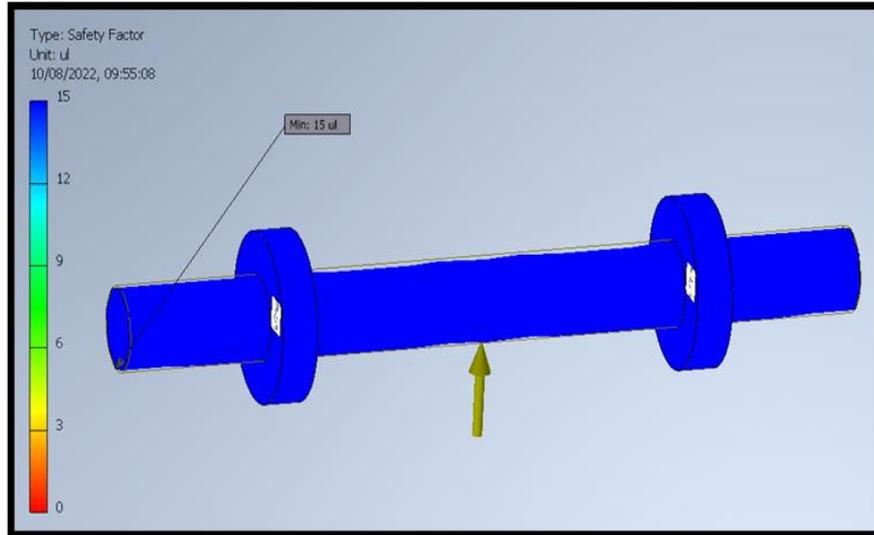


Finalmente, dentro de la realización del diseño se aborda la verificación del factor de seguridad, siendo este, el coeficiente de seguridad es el cociente entre el

valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

Figura 33.

Verificación del factor de seguridad mínimo (15)

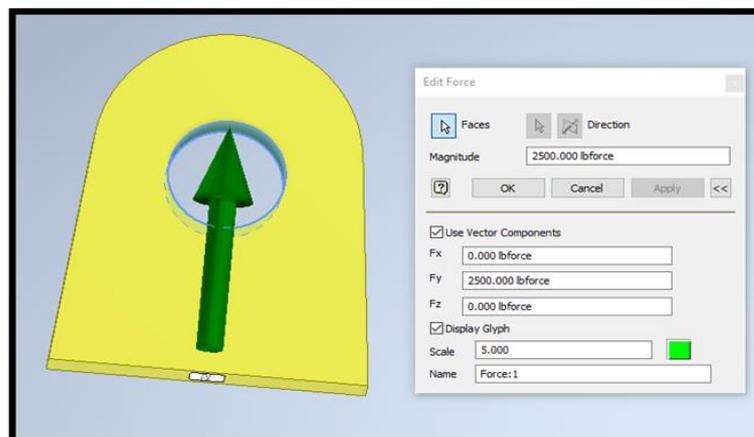


Orejas de sujeción de la propuesta

Dentro del abordaje estructural y análisis dimensional del elevador, se establece la asignación de cargas y restricciones, en tal sentido, se asigna la carga (2500 newton fuerza) de modo que actúe hacia arriba y restringido en la parte de abajo el cual estará soldado a la barra redonda, tal como se muestra en la figura 34.

Figura 34.

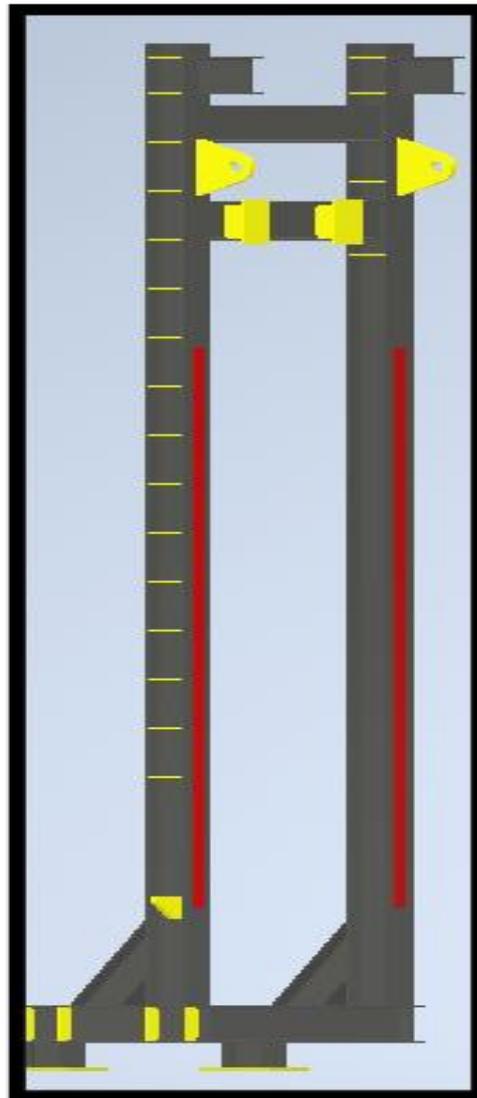
Asignación de cargas.



Asimismo, para la sujeción del Tecele, en este apartado se realizará el cálculo de la oreja de soporte del tecele que va unido a la columna de la estructura principal. En tal sentido, se tiene la figura 35.

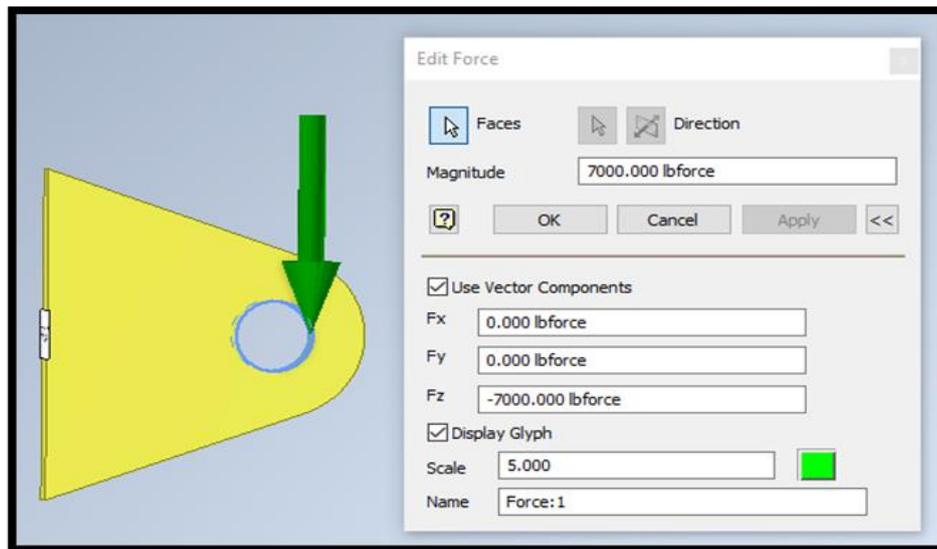
Figura 35.

Estructura principal y orejas de sujeción del Tecele.



La capacidad mínima de carga de cada tecele es de 3000kg equivalente a 6620 lbs; sin embargo, se tomará una carga de 7000lbs para efectuar el cálculo en el software Inventor, considerando un criterio conservador. Para dichas orejas de sujeción se abordaron las asignaciones de carga correspondientes y sus restricciones tal cual se esbozan en la figura 36.

Figura 36.
Asignación de cargas y restricciones



Asimismo, se aborda la lista de materiales a necesitar para la estructura del elevador, ensamblaje de la plataforma para cambio de Liners de tapa y zonificación de la estructura sobre el molino en cuestión, en las figuras 37, 38, 39 y 40 se presentan los abordajes de la mejora para el mantenimiento de los Liners de tapa.

Figura 37.

Lista de materiales a emplear para la mejora

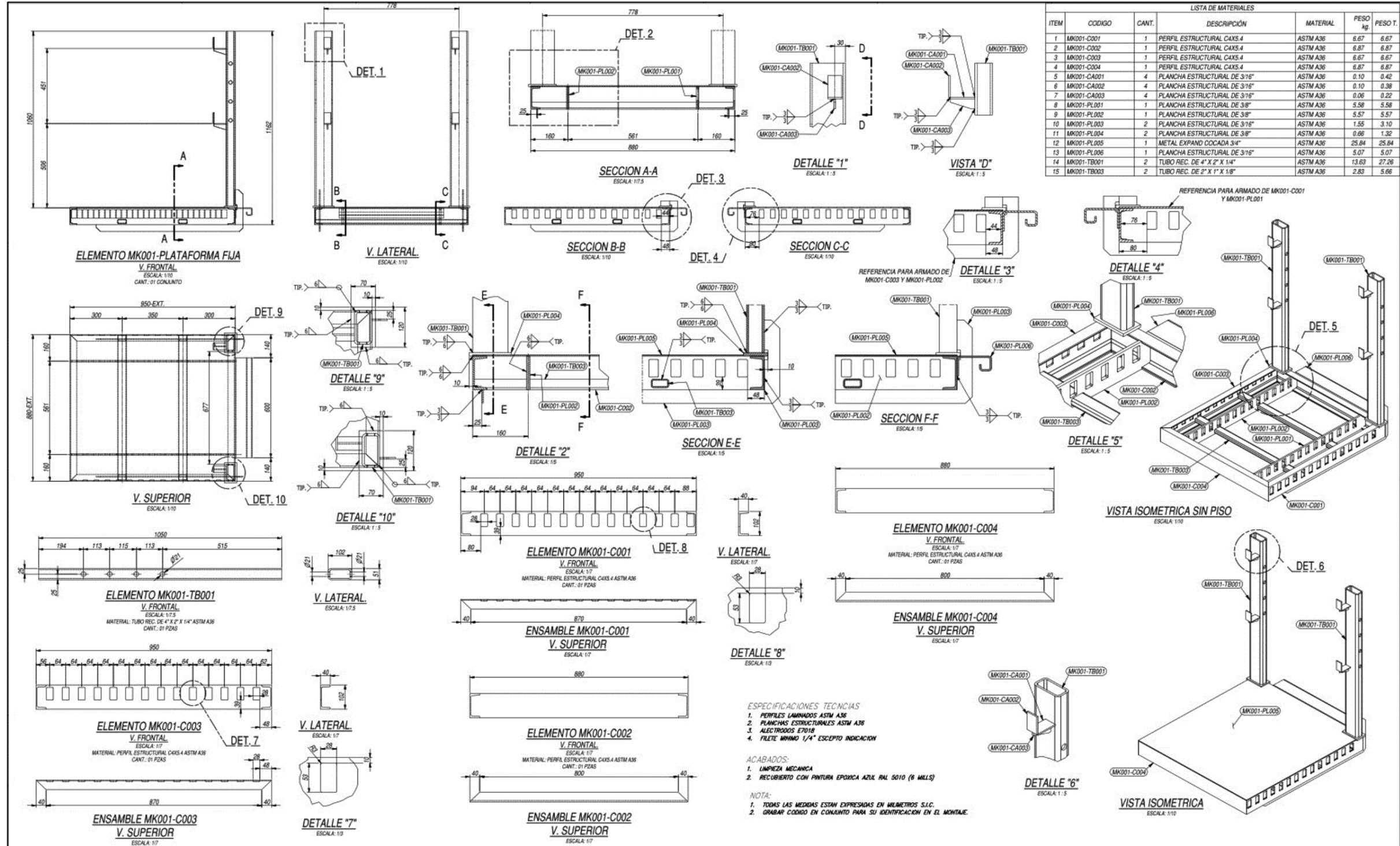


Figura 38.

Ensamble de la plataforma para cambio de Liners de tapa

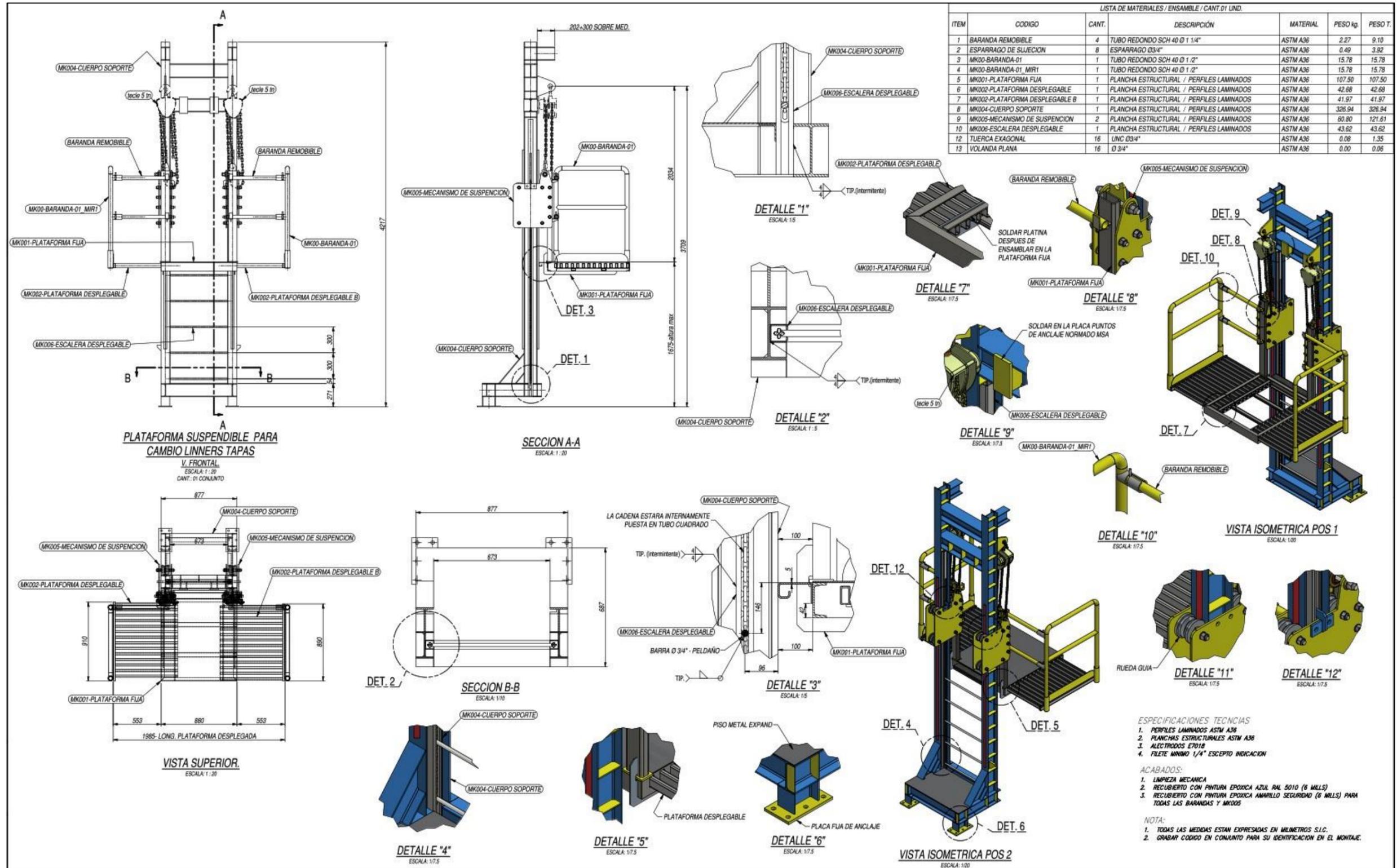


Figura 39.

Disposición y despiece del elevador

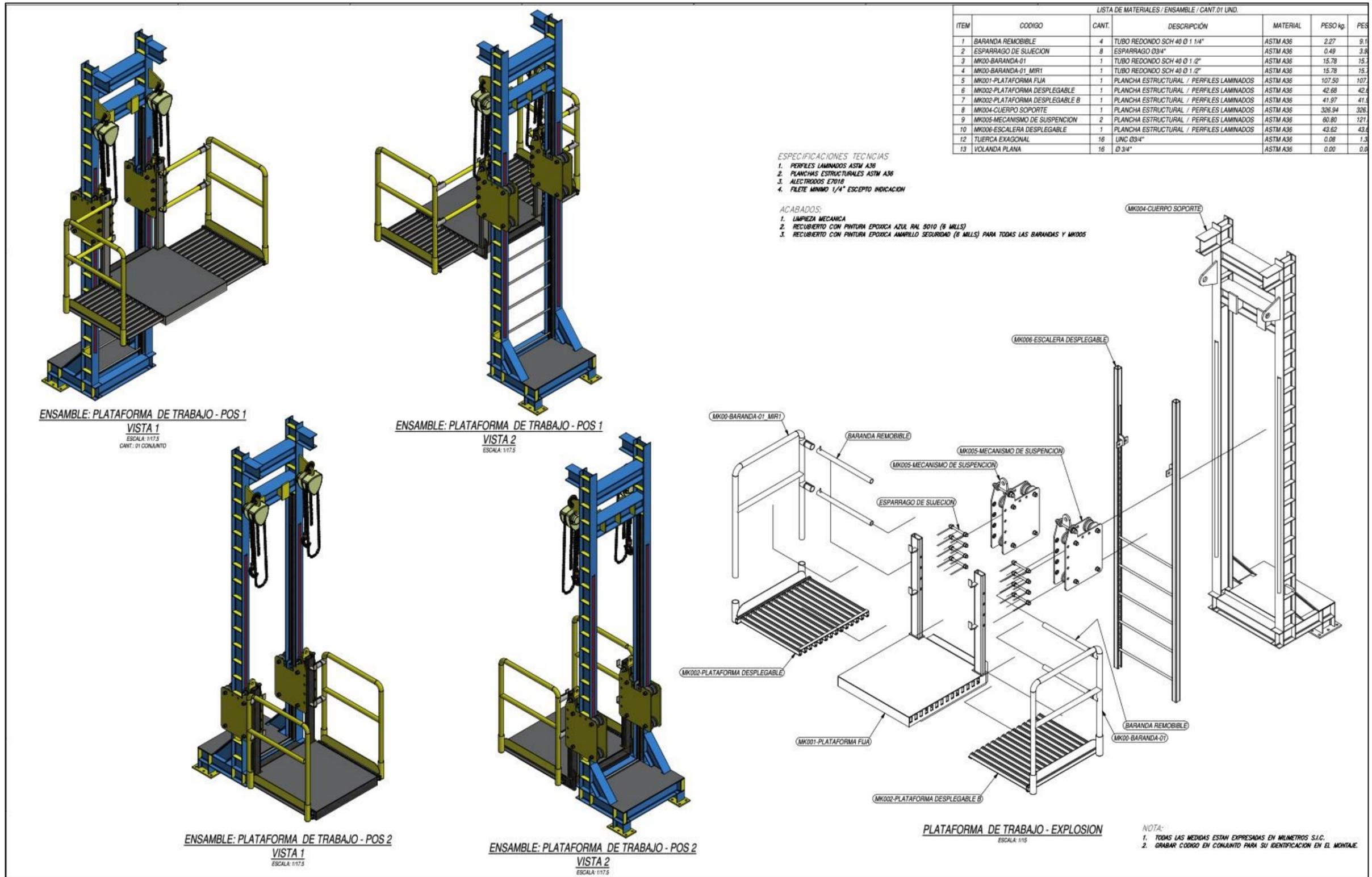
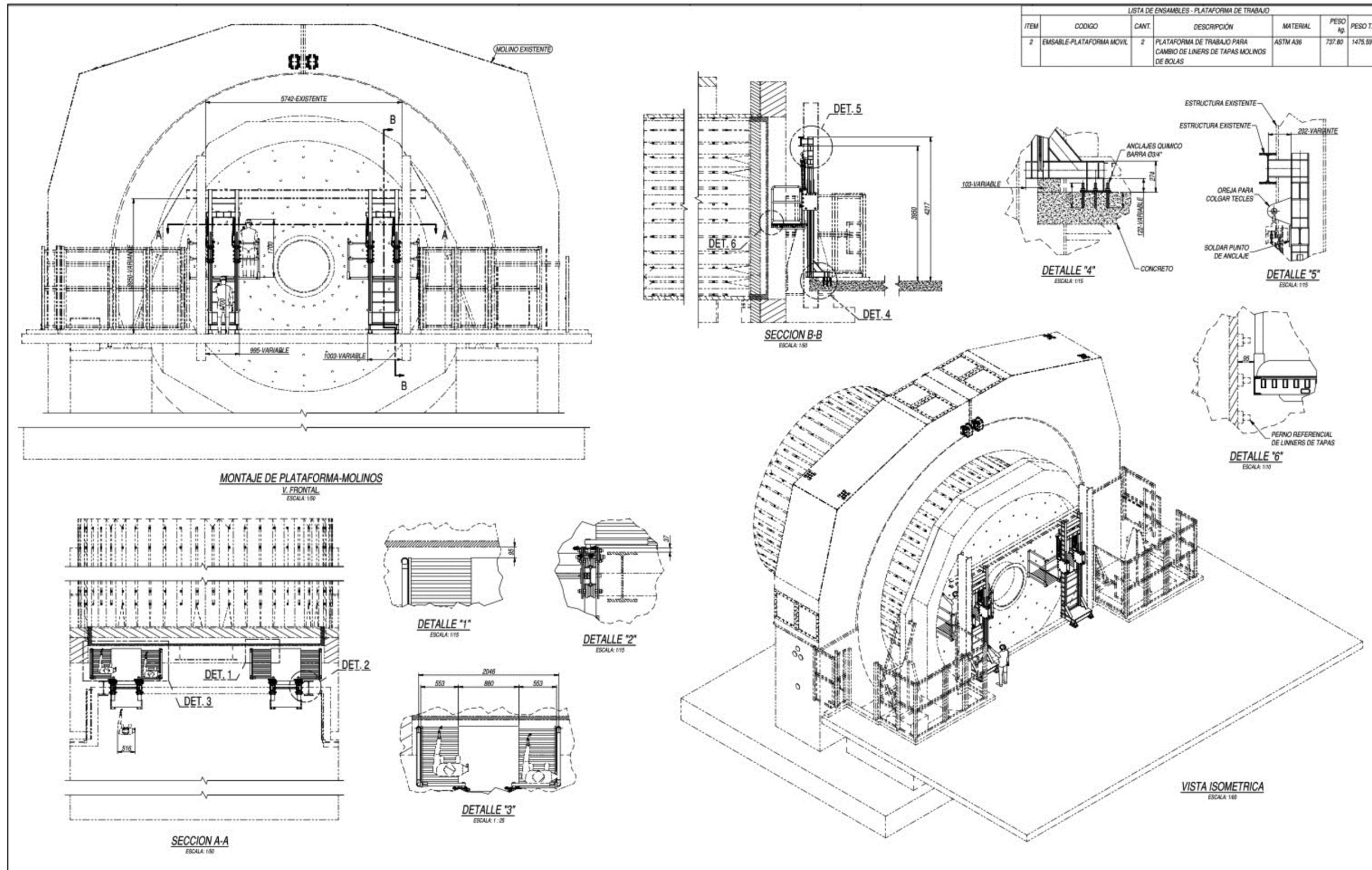


Figura 40.

Zonificación del elevador sobre el molino de bolas



4.3.3 Verificación

En síntesis, se analizó el comportamiento estructural de la estructura principal de la plataforma de cambio de Liners, según normativas y cargas indicadas en este documento mediante el software sap2000 y se obtuvieron los siguientes resultados: La ratio máxima obtenido fue de 0.33 correspondiente a la columna principal, se aplicó una carga de 3000 kg por cada punto de sujeción, en total 6000 kg, la deflexión lateral de la columna fue de 2.1mm el cual es admisible. Se concluye que la verificación de la estructura principal de la plataforma de elevación soporta las cargas máximas a las que será sometido.

Se analizó el comportamiento estructural de los elementos del mecanismo de elevación de la plataforma de cambio de Liners, la barra redonda y la oreja de sujeción del mecanismo de elevación, aplicando una carga de 2500 lbs por cada punto de sujeción en total 5000lbs y mediante el software Inventor 2022 se obtuvo como resultado lo siguiente:

Para la barra redonda, el desplazamiento máximo debido a las cargas de trabajo para la barrar redonda es 0.0001mm, el esfuerzo máximo por deformación de Von Mises para la barra redonda es de 0.648 Mpa, el factor de seguridad para la barra redonda es de 15 y el material usado para la barra redonda AISI 1045.

Asimismo, para las orejas de sujeción, el desplazamiento máximo de la oreja de sujeción es de 0.052, el esfuerzo máximo de Von Mises para la oreja de sujeción es de 22.13 Mpa, el factor de seguridad para la oreja de sujeción de la barra es de 11.22 y el material correspondiente a la oreja de sujeción es de ASTM A36.

Se analizó el comportamiento estructural de la oreja de sujeción del tecele considerando una carga de 3000 kg por cada oreja teniendo como carga total un valor de 6000 kg. Mediante el software Inventor 2022 se obtuvo como resultado lo siguiente: el desplazamiento máximo debido a las cargas de trabajo es 0.06mm, el esfuerzo máximo por deformación de Von Mises se de 60.41 Mpa, el factor de seguridad para la barra redonda es de 4.11 y el material correspondiente a la oreja de sujeción es de ASTM A36.

En esta etapa se realizó la medición de los indicadores de esfuerzo de la estructura por medio de la simulación asistida por computador establecidos en los anexos, asimismo, se abordaron principalmente dos indicadores, estos hacen referencia a la pérdida económica por tiempo de demora por cada parada y la pérdida económica de producción por parada, partiendo de los costos por parada

por hora, producción por hora en cada molino y el tiempo de demora por parada de mantenimiento.

Asimismo, el seguimiento continuo de ejecución se realizará de forma anual, es decir, el periodo de mantenimiento preventivo empleado para el cambio de los Liners de bola, este seguimiento se fundamenta básicamente en el cálculo de los indicadores económicos correspondientes.

Por otra parte, esta parte del PHVA es necesaria de la anterior, en la que se analizan los éxitos y fracasos de la propuesta. En ese sentido, verificar los resultados de la propuesta es el siguiente paso tras finalizar, siendo una fase crucial, ya que permite evaluar la solución y hacer los ajustes necesarios en función de: medición de tiempos desde la intervención hasta la puesta en marcha del equipo con los Liners de tapas cambiados y comprobar la calidad en la fabricación de las plataformas tipo elevador antes de su instalación en los molinos de bola.

Asimismo, se calculará por cada toma de tiempo las pérdidas económicas de producción por parada, partiendo de la premisa que, por 40 horas de mantenimiento y el costo de parada por hora es 35.000\$, el costo de producción es viene dado por la siguiente expresión:

$$CT_{pro} = 3,402 \frac{TN}{h} * \frac{1Kg Cu}{1 TN} * \frac{40 h}{1 parada} * \frac{9.18\$}{1 Kg Cu} = 1,249,214.4 \$/parada \quad (1)$$

En adición, la verificación de la funcionabilidad de la propuesta se hará de forma cualitativa presencial por medio de un auditor de tiempo, el cual realizará la medición de tiempos tomando como base que son 50 horas de parada por mantenimiento programado para cambios de Liners. Asimismo, por medio de la implementación de la propuesta se ha conciliado una reducción de horas programadas a 40 horas (horas medidas por el mismo personal auditor). Asimismo, por medio del control tiempo abordado se tomarán en consideración los fallos identificados para la actualización y mejora del plan de mantenimiento.

4.3.4 Actuar

La mejora con respecto al mantenimiento de los Liners de tapa del molino de bola de la unidad minera cuprífera, tomando en consideración el molino de bolas con mayor registro de fallos a lo largo del tiempo durante el último año de funcionamiento, tomando en cuenta los sobre tiempos de parada por mantenimiento, producción innecesaria y altos costos por tercerización del

mantenimiento de dichos Liners, esta implementación trae beneficios a nivel de productividad, efectividad y economía sobre la organización. En tal virtud, dichas acciones pueden expandirse o ampliarse para el mantenimiento de Liners de tapa del compendio de molinos establecidos dentro de la organización. En síntesis, en esta etapa de mejora continua se presenta el actuar que no es más que la implementación de la mejora global del proyecto en cuestión, en esta fase se ponen en marcha acciones para mejorar el rendimiento del proceso, como corregir desviaciones, estandarizar cambios, proporcionar la formación y las competencias necesarias y establecer un marco de seguimiento. Las siguientes figuras, develan el proceder de instalación y operación de la mejora respectiva. Asimismo, se muestra que la plataforma fue fijada en uno de los molinos, mediante anclajes con concreto y a la estructura con soldadura, lo que imposibilita utilizarla en otros molinos.

En primera instancia, se recurre al ensamblaje de las piezas correspondientes al elevador en la zona de mantenimiento de los Liners de tapa, posterior a ello, se realiza el proceso de instalación de la plataforma de mejora (ver figura 41).

Figura 41.

Instalación de la plataforma en el molino



Consecuentemente, luego de posicionar la plataforma sobre el suelo de concreto, se procede al levantamiento vertical de la plataforma con ayuda de cables fijados a la estructura existente, la ubicación de la plataforma está en la zona de las tapas de alimentación (ver figura 42).

Figura 42.

Disposición del elevador



Se posiciona la plataforma en la zona exacta de trabajo, se fija las bases sobre el concreto realizando perforaciones para la instalación de anclajes químicos y en la parte superior soldada a la estructura existente. Finalmente se procede al funcionamiento de la plataforma dónde se accede a los pernos de manera fácil

y cómoda y se regula la altura para retirar el perno deseado sin necesidad de armar y desarmar andamios que genera un excesivo recurso en tiempo y horas hombre (ver figura 43).

Figura 43.

Operación de la plataforma para mantenimiento de Liners de Tapa del molino de bola



4.4 Evaluación económica

En esta etapa final se toma en consideración los costos beneficios establecidos en la implementación de la mejora este análisis toma dos elementos fundamentales en el mantenimiento de los Liners de tapa del molino de bolas, esta es el costo de paradas por mantenimiento antes y después de la implementación de la mejora y el costo del cambio de los Liners de tapa. En tal virtud, se toma en consideración el reporte supervisor de operaciones de los molinos en un turno de la superintendencia de operaciones de la concentradora de la unidad minera cuprífera, así, se tiene lo siguiente:

Tabla 7

Reporte de manejo y procesamiento de los molinos pertenecientes a la unidad minera cuprífera en un turno de trabajo

Molinos	ML-101	ML-201	ML-301	ML-401	ML-501	ML-601
Tonelaje acumulado	134,376					
Tonelaje actual por hora	3402	3396	3394	3602	3398	3406
Potencia del molino (MW)	18.3	17.9	18.3	17.7	17.2	17.9
RPM del molino	10.3	10.2	10.3	10.3	10.4	10.3
P80	197.8	156.8	144.3	142.7	154.4	160.9
% sólido descarga	76.3	76.8	76.7	76.3	76.3	76.5
Presión de ciclones (KPa)	125.6	132.3	128.7	124.6	131.0	132.5
Nivel de tolva de finos (%)	72.8	75.6	81.6	84.2	77.1	72.0
Tonelaje de adición de bolas	7	7	7	7	7	7

Nota: reporte supervisor de operaciones de molino.

Fundamentando el cálculo siguiente para evidenciar el beneficio de la implementación de la mejora se toma en consideración 2 elementos principales: pérdida económica por parada de mantenimiento y pérdida económica de producción por parada de mantenimiento. Consecuentemente, dentro de la estructura de mantenimiento, se establecen los siguientes parámetros de costos:

Análisis económico sin plataforma fija tipo elevador:

El cambio de Liners de tapas que se hace a un molino es cada 12 meses en promedio, en ciertas ocasiones se le hacen en 11 meses por que sobre cargaron el molino con más tonelaje. Aunado a esto, se realiza en todo el año cada 2 meses el cambio de Liner. Por ejemplo, en enero se hace cambio al molino 1, dos meses después al molino 2 sería en marzo; dos meses después, sería al molino 3 mayo y así sucesivamente hasta llegar al molino 6. Asimismo, se tiene que el tiempo de demora por parada de mantenimiento por cambio de Liners es de 50 horas, y por cada hora el costo es de 35, 000 \$. Es por ello que para el molino 1 (más crítico ML-101), para un procesamiento de 3402 toneladas de mineral, se conoce del departamento productivo que 1 tonelada

de este equivale a 1 kg de cobre puro que posee un costo de 9.18\$, en tal sentido, se tiene la siguiente tabla de costos de parada y producción.

Tabla 8

Costos de parada del molino de bola por mantenimiento (sin plataforma)

Elementos a considerar	Costo de parada por hora	Producción por hora de ML-101	Tiempo de demora por cada parada	Pérdida económica por tiempo de demora por cada parada	Pérdida económica de producción por parada
ML-101	35,000\$	3402	50 horas	1,750,000\$	1,561,518\$
Total				1,750,000\$	1,561,518\$

Nota: Datos del reporte de operación del molino

Se toma en consideración el siguiente cálculo para establecer la cantidad en \$ de la pérdida económica en producción por parada de mantenimiento de Liners de tapa del molino de bola, en tal sentido se tiene:

$$CT_{pro} = 3,402 \frac{TN}{h} * \frac{1Kg Cu}{1 TN} * \frac{50 h}{1 parada} * \frac{9.18\$}{1 Kg Cu} = 1,561,518 \$/parada \quad (2)$$

En tal sentido, permaneciendo el tiempo de parada de molino de 50 horas por mantenimiento de Liners de tapa que equivale a 50 horas de donde 10 de ellas pertenece al armado y desarmado de los andamos correspondientes para llegar a la ubicación de los Liners, la distribución de armado y desarmado equivale a 5 giros de molino para la sustitución, es decir, 2 horas de demora por giro para el armar y desarmar los andamios.

Cabe destacar que, existe una diferencia significativa entre la pérdida económica por tiempo de demora por cada parada y pérdida económica de producción por parada; haciendo un enfoque en el primer tipo de pérdida, este monto es el mayor debido a que, el costo de 35 000\$/h encierra el costo de la pérdida económica de producción más la operatividad de equipos que trabajan en serie y en paralelo con el proceso del molino ML-101 (mantenimiento adicionales a estos equipos), en tal sentido, estos son costos que suman a la parada programadas y no programada; más, el costo de su producción correspondiente.

Análisis económico con plataforma fija tipo elevador:

Análisis de inversión

Tabla9.

Costos de parada del molino de bola por mantenimiento (con plataforma)

Elementos a considerar	Costo de parada por hora	Producción por hora de ML-101	Tiempo de demora por cada parada	Pérdida económica por tiempo de demora por cada parada	Pérdida económica de producción por parada
ML-101	35,000\$	3402	40 horas	1,400,000\$	1,249,214.4\$
Total				1,400,000\$	1,249,214.4\$

Nota: Datos del reporte de operación del molino

Se toma en consideración el siguiente cálculo para establecer la cantidad en \$ de la pérdida económica en producción por parada de mantenimiento de Liners de tapa del molino de bola m1, en tal sentido se tiene:

$$CT_{pro} = 3,402 \frac{TN}{h} * \frac{1Kg Cu}{1 TN} * \frac{40 h}{1 parada} * \frac{9.18\$}{1 Kg Cu} = 1,249,214.4 \$/parada \quad (3)$$

Tomando en consideración ambos análisis de beneficio previo a la mejora y después de la misma, se evidencia una reducción en su totalidad del tiempo de incorporación de estructura para alcanzar los Liners de tapa del molino, en tal virtud, considerando las pérdidas económicas por tiempo de demora en cada para sin establecer la producción se toma en cuenta la siguiente sustracción:

$$B1 = \text{Pérdida económica por parada antes} - \text{Pérdida económica por parada desp} \quad (4)$$

$$B1 = 1,750,000 \frac{\$}{parada} - 1,400,000 \frac{\$}{parada}$$

$$B1 = 350,000 \frac{\$}{parada} \blacksquare$$

Entonces, el ahorro por parada de mantenimiento de Liners de tapa con la incorporación de la mejora es de 350,000 \$/parada programada de mantenimiento. Por su parte, se presenta el segundo beneficio que es el productivo establecido por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 B2 &= \textit{pérdida económica de producción por parada antes} \\
 &\quad - \textit{pérdida económica por parada después} \qquad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B2 &= 1,561,518 \frac{\$}{\textit{parada}} - 1,249,214.4 \frac{\$}{\textit{parada}} \\
 B2 &= 312,303.6 \frac{\$}{\textit{parada}} \blacksquare
 \end{aligned}$$

En cuanto a la producción por parada con la mejora por medio de la implementación de la parada fija tipo elevador se establece un beneficio, es decir un ahorro por la reducción de 10 horas de instalación de plataforma de alcance de 312, 303.6 \$/parada.

Ahora bien, dentro de la empresa cuprífera, para optimizar en gran medida el proceso de extracción de concentrado de cobre la organización establece 6 molinos productores donde el primero (ML-101), es el crítico de estudio. Sin embargo, plantear la instalación de la plataforma fija tipo elevador no solo a ML-101 sino a los otros 5 equipos establecidos en la línea de producción generaría un cambio significativo en costos y tiempos, en tal sentido se presenta la siguiente tabla de proyección de costos y horas fundamentadas en las toneladas de mineral procesado por molino esclarecido en la tabla 9, tomando en consideración el análisis diagnóstico que establece lo siguiente: el costo de 35 000\$/h encierra el costo de la pérdida económica de producción más la operatividad de equipos que trabajan en serie y en paralelo con el proceso de los molinos en general (mantenimiento adicionales a estos equipos), en tal sentido, estos son costos que suman a la parada programadas y no programada; más, el costo de su producción correspondiente.

Tabla10.

Beneficio económico de la implementación a todos los molinos

Elementos a considerar	Costo de parada por hora	Producción por hora de m1	Tiempo de demora por cada parada	Pérdida económica por tiempo de demora por cada parada	Pérdida económica de producción por parada
ML-201	35,000\$	3396			
Antes			50 horas	1,750,000\$	1,558,764\$
Después			40 horas	1,400,000\$	1,247,011.2\$
Beneficio				350,000\$	311,752.8\$
ML-301	35,000\$	3394			
Antes			50 horas	1,750,000\$	1,557,846\$
Después			40 horas	1,400,000\$	1,246,276.8\$
Beneficio				350,000\$	311,569.2\$
ML-401	35,000\$	3602			
Antes			50 horas	1,750,000\$	1,653,318\$
Después			40 horas	1,400,000\$	1,322,654.4\$
Beneficio				350,000\$	330,663.6\$
ML-501	35,000\$	3398			
Antes			50 horas	1,750,000\$	1,559,682\$
Después			40 horas	1,400,000\$	1,247,745.6\$
Beneficio				350,000\$	311,936.4\$
ML-601	35,000\$	3406			
Antes			50 horas	1,750,000\$	1,563,354\$
Después			40 horas	1,400,000\$	1,250,683.2\$
Beneficio				350,000\$	312,670.8\$

CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo por objetivo general implementar una propuesta de mejora de mantenimiento de los Liners de tapa de molino de bola en una unidad minera cuprífera ubicada en la región de Arequipa, en la cual se evidenció como problemas principales los paros mecánicos, cambios y preparaciones, esperas y paradas, retrabajos y pérdidas en los cambios por la metodología de mantenimiento abordaba hasta la fecha sobre el molino que presentó más incidencias al respecto por lo cual por medio de una empresa metalmecánica, dedicada a la fabricación de maquinaria y estructura industrial se diseñó y estructuró un elevador como mejora para optimizar los trabajos de mantenimiento de los Liners de tapas del molino en cuestión, generando consigo la disminución de paradas, mejor beneficio económico y alargamiento de la vida útil de los Liners de tapa debido a su adecuada instalación.

La primera etapa de cualquier levantamiento a nivel industrial es el diagnóstico del entorno objeto de estudio, este permitió establecer las problemáticas por desgaste dentro del funcionamiento del molino de bola haciendo prioritario las paradas mecánicas programadas y no programadas por cambio de componentes por desgaste prematuro por exceso de carga de trabajo del equipo y las paradas de emergencia por ruptura de componentes establecieron un costo de ejecución previo a la mejora de \$/ 1,750,000. Cabe destacar que existe una diferencia significativa entre la pérdida económica por tiempo de demora por cada parada y pérdida económica de producción por parada; haciendo un enfoque en el primer tipo de pérdida, este monto es el mayor debido a que el costo de 35 000\$/h encierra el costo de la pérdida económica de producción más la operatividad de equipos que trabajan en serie y en paralelo con el proceso del molino ML-101 (mantenimiento adicionales a estos equipos); en tal sentido, estos son costos que suman a la parada programadas y no programada más el costo de su producción correspondiente.

Dentro del análisis y determinación de las fallas que inciden en la generación de sobre tiempos de trabajo, producción innecesaria y altos costos de mantenimiento, se priorizan como elementos de fallas el desgaste de los Liners de tapa, desperdicio de pulpa y revestimiento de parrilla generando por tipo de Liners para los mantenimientos 96 para la tapa y 144 tipo Shell. El principal problema generado, es en los Liners, por el desgaste de la molienda de material. Generalmente estos Liners tapa tuvieron una duración de 8.1 meses, generando una producción de 10,200,549 TN.

Se implementó la propuesta de mejora de mantenimiento de los Liners de tala de molino de bola por medio del uso de una plataforma fija tipo elevador, dicha propuesta siguió los estándares de mejora continua PHVA donde se abordó el diseño del elevador. Se realizó la simulación asistida por computador para verificar el comportamiento estructural en cuanto al ratio máximo, la carga de la columna principal, la deflexión lateral y cargas máximas de soporte de la estructura. Asimismo, se analizó las cargas de sujeción de la barra redonda, el desplazamiento máximo de la oreja y el factor de seguridad, cabe destacar que se emplearon materiales estandarizados de construcción como lo es AISI 1045 y ASTM A36.

El beneficio económico de la propuesta representó un cambio relevante esclareciendo un ahorro de \$/350,000 para las paradas programadas por mantenimiento y \$/312,303.6 por producción después de la implementación, este obtenido de la diferencia entre los costos de pérdida económica por paradas antes y después de la implementación de la mejora y pérdida económica de producción por parada antes y después de dicha implementación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un análisis de las fallas establecidas en los Liners Trunnion con la finalidad de garantizar que la plataforma fija de tipo elevador puede propiciar el mejor desempeño del molino de bola.

Analizar la situación actual de los otros molinos que presentan menos incidencia de fallas con la finalidad de establecer el margen de fallas y desperdicios de los demás equipos para aumentar la disponibilidad de los mismos.

Implementar la propuesta de mejora a los demás molinos de bola establecidos dentro de la organización, así como también, la evaluación pertinente del diseño para abordar otros tipos de mantenimiento rutinario establecidos en otros equipos dentro de la unidad minera cuprífera.

Abordar un análisis económico anualmente de los costos establecidos del diseño y construcción de la plataforma fija tipo elevador, para hacer seguimiento a los proyectos a futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDO, F., RUBIO, M., y SEISDEDOS I., La mejora continua en la gestión de la prevención de riesgos laborales en la empresa desde la vigilancia colectiva de la salud. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*. [En línea]. marzo, 2016, 26(1). [Fecha de consulta: 24 de diciembre de 2022]. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552017000100005

AGUILAR, R. Análisis y mejoras de la gestión del área de mantenimiento mecánico molienda procesos C2 de la planta concentradora de cobre de Sociedad minera Cerro Verde Arequipa basado en la filosofía de mantenimiento productivo total. Tesis (Título de ingeniero industrial). Arequipa: Universidad Continental, 2018. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4970/1/IV_FIN_108_TI_Aguilar_Bustamante_2018.pdf

ALDEA, A., Influencia del rediseño de los procesos productivos de una empresa de envolturas flexibles basados en la mejora continua. *Industria DATA*. [En línea]. Enero, 2021, 24(1). [Fecha de consulta: 24 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i1.19616>

ARIAS, L. y VILLACRÉS, J. Reingeniería en el diseño e implementación de un molino tipo bola para una industria minera ubicada en Naranjal. Tesis (Título de ingeniero industrial). Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2020. [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19335/1/UPS-GT003005.pdf>

ARROYO, M., Comparación del desgaste de los cuerpos molidores por uso de agua de mar en el proceso de molienda. Tesis (Título de ingeniero civil de minas). Curicó: Universidad de Talca, 2018. [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12296/3/tutcur-20180014.pdf>

CANAHUA, N. Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Revista Industrial Data* [En línea]. Agosto-febrero, 2021, 24(1). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/idata/v24n1/1810-9993-idata-24-01-49.pdf>

CANAHUAZA, N. Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmeccánica. *Industrial Data* [En línea]. Enero-junio 2021, 24(1). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-99932021000100049

CASTILLO, A., FERNÁNDEZ, L. y ÁNGELES, L. Impacto del TPM en el Desempeño Operativo de las Empresas Industriales del Sur de Tamaulipas. *Revista de Ingeniería Industrial* [En línea]. Abril-junio, 2018, 2(4). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. ISSN 607-8534. Disponible en: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Industrial/vol2num4/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Industrial_V2_N4_4.pdf

CHIGUANO, W. Desarrollo de un plan de mantenimiento en el subproceso de molienda en la industria harinera S.A. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2020. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31428>

DELGADO, J. Sistema de monitoreo en línea del desgaste de los revestimientos en los molinos convencionales de la unidad minera Uchucchacua. Tesis (título de ingeniero mecánico). Arequipa: Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC, 2019. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2023]. Disponible en: https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/242/1/Delgado%20Pomachagua_Tesis.pdf

GUERRA, E. y OCA, A. Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Boletín de Ciencias de la Tierra* [En línea]. Enero-junio 2019, (45). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302019000100014

HERNÁNDEZ, R. y MENDOZA, Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta [en línea]. 6ta ed. México: McGraw Hill, 2018. [fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

INGA, J. Mejora de la disponibilidad mecánica del molino de bolas 9x13 ft para incrementar la producción diaria en Minera Sierra Antapite. Tesis (Título de ingeniero mecánico).

Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7309>

LA ROTTA, A. y TORRES, M., Explotación Minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Revista Saúde em Debate*. [En línea]. Enero-marzo, 2017, 41(112). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>

LANDEROS, C., CHIHUAQUE, J., MELESIO, M. y GALVÁN, M. Análisis de los factores de productividad, desperdicio y confiabilidad de los equipos, al implementar TPM en una empresa del sector automotriz. *Revista de Ingeniería Industrial* [En línea]. Octubre-diciembre, 2019, 3(10). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Industrial/vol3num10/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Industrial_V3_N10_4.pdf

MEDINA, A., NOGUEIRA, D., HERNÁNDEZ, A. y COMAS, RAÚL. Procedimiento para la gestión por procesos: métodos y herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista Chilena de ingeniería*. [En línea]. junio, 2019, 27(2). [Fecha de consulta: 24 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v27n2/0718-3305-ingeniare-27-02-00328.pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS-MINEM, Cartera de proyectos de exploración minera 2022. Marzo, 2022. Disponible en: Cartera de Proyectos de Exploración Minera 2022 - Informes y publicaciones - Ministerio de Energía y Minas - Gobierno del Perú (www.gob.pe)

MUÑOZ, J. Propuesta de mejora para el proceso de cambio de revestimiento para el molino de bolas en el área de concentradora en una empresa minera, Arequipa, 2018. Tesis (Título de ingeniero industrial). Arequipa: Universidad Continental, 2019. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5525/2/IV_FIN_108_TI_Munoz_Ramirez_2019.pdf

NARVAEZ, J. Análisis de fallas del molino de bolas 20'x30' para propuesta de plan de mantenimiento preventivo en planta concentradora del brocal. Tesis (título de ingeniero mecánico). Arequipa: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2023]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6855/T010_45476152_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

YANARICO, C. Diseño de una herramienta de adaptación a cabezal de máquina enlainadora para la instalación de Filler Ring (liner de 320 kg) para el proceso de cambio de liners del molino de bolas en la planta concentradora C2 de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., Arequipa. Tesis (Título de ingeniero industrial). Arequipa: Universidad Continental, 2018. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2023]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5187/3/IV_FIN_108_TE_Yanarico_Pauro_2018.pdf

ZAMBRANO, O. y ALMEIDA, O. Mejora continua en productividad organizacional y su impacto en colaboradores. Colombia, 2017. *Desarrollo Gerencial*. [En línea]. julio, 2018, 10(2). [Fecha de consulta: 24 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.17081/dege.10.2.3033>

ZAMORA, G. y TORRES, J., Economía circular en el procesamiento mineral: uso de aguas residuales urbanas tratadas en procesos de flotación de minerales sulfurados. *Revista de Medio Ambiente y Minería*. [En línea]. Diciembre, 2021, 6(2). [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522021000200005

ZAMORA, I., Diseño de un plan de mantenimiento para un molino de bolas de la empresa compañía minera Cerro Negro S.A. Tesis (Título de ingeniero civil mecánico). Quilpué: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2018. [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/Txt-9500/UCC9690_01.pdf

ANEXOS

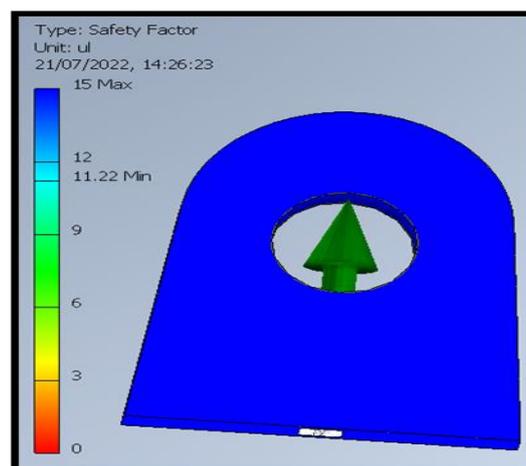
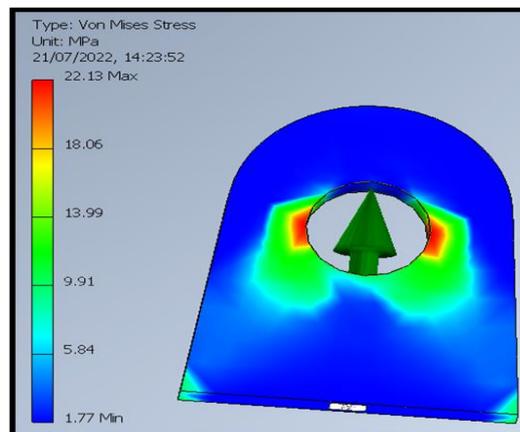
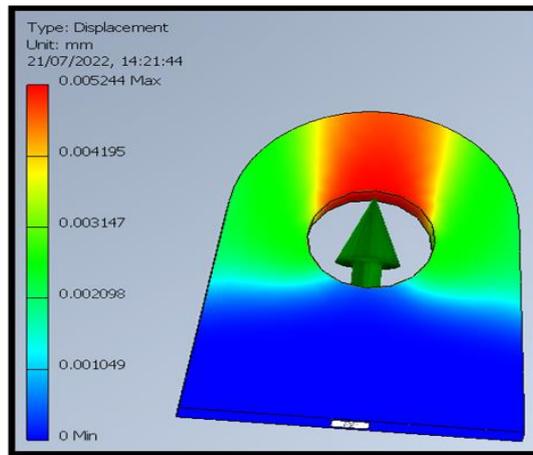
Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: PROPUESTA DE MEJORA DE MANTENIMIENTO DE LOS LINER DE TAPA DE MOLINO DE BOLA EN UNA UNIDAD MINERA CUPRÍFERA EN AREQUIPA, 2022				
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
General	General			
¿De qué forma la implementación de una propuesta de mejora de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola disminuirá los tiempos de mantenimiento, producción y costos en los molinos de bolas en una unidad minera cuprífera?	Implementar una propuesta de mejora de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola en una unidad minera cuprífera en Arequipa, 2022.	VARIABLE 1 (INDEPENDIENTE) Propuesta de mejora de mantenimiento VARIABLE 2 (DEPENDIENTE) Tiempos de mantenimiento, producción y costos (se pueden definir como desperdicios procedimentales)	D1: situación inicial diagnóstica D2: Identificación de fallos D3: Plan de mantenimiento mediante el uso de una plataforma fija tipo elevador D1: Mantenimiento de Liner y tapas D2: Pérdidas de tiempos D3: Pérdidas en la máquina D3: Pérdida en el proceso	Enfoque: cuantitativo Tipo: deductivo Nivel: causal Diseño: pre-experimental Población: fallos presentes en cuatro (06) molinos de bolas en una unidad minera cuprífera Muestreo: no probabilístico por conveniencia, un (01) molino de bolas con mayor incidencia de fallos. Técnica: observación, análisis de contenido Instrumento: para el presente trabajo se utilizará para la observación cámaras fotográficas, revisión de contenido.
Específicos	Específicos			
¿Cuál es la situación inicial diagnóstica en materia de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola?	Determinar la situación inicial diagnóstica en materia de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola			
¿Cuáles son los fallos que inciden en la generación de sobre tiempos de trabajo, producción innecesaria y altos costos en el mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola?	Analizar y determinar los fallos que inciden en la generación de sobre tiempos de trabajo, producción innecesaria y altos costos en el mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola			
¿La propuesta de mejora de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola mediante el uso de una plataforma fija tipo elevador disminuirá los tiempos de mantenimiento, producción y costos?	Implementar propuesta de mejora de mantenimiento de los liner de tapa de molino de bola mediante el uso de una plataforma fija tipo elevador.			
¿Qué beneficios se obtendrán de la mejora propuesta?	Establecer los beneficios de la implementación de las mejoras propuestas.			

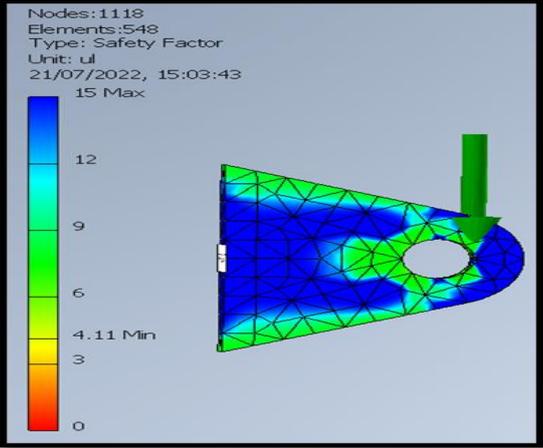
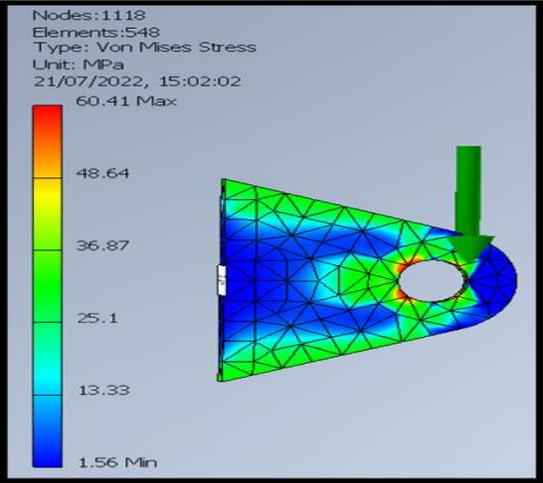
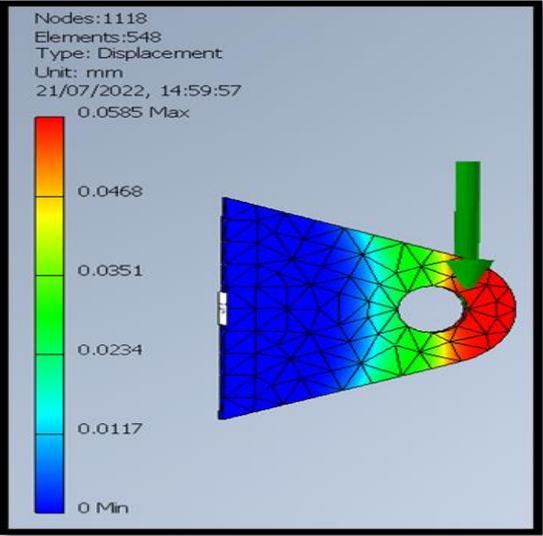
Anexo 2. Hoja de cálculo del elemento con mayor ratio correspondiente a la columna principal.

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Kgf, mm, C						
Frame : 13	X Mid: 0.	Combo: DSTL2	Design Type: Column			
Length: 3947.	Y Mid: 0.	Shape: W6X12	Frame Type: SMF			
Loc : 3597.	Z Mid: 2243.5	Class: Compact	Princpl Rot: 0. degrees			
Provision: LRFD		Analysis: Direct Analysis		Reduction: Tau-b Fixed		
D/C Limit=0.95		2nd Order: General 2nd Order		EA factor=0.8 EI factor=0.8		
AlphaPr/Py=0.042		AlphaPr/Pe=0.141 Tau_b=1.				
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=2290.318	I33=9198714.665	r33=63.375	S33=120117.449	Av3=1204.299		
J=37585.698	I22=1244531.967	r22=23.311	S22=24498.661	Av2=894.772		
E=20389.019	Fy=35.153	Ry=1.1	z33=136012.634	Cw=6636654651.		
RLLF=1.	Fu=45.7		z22=38017.987			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo DSTL2)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
3597.	-3420.249	-1075109.38	68.984	489.508	-0.051	-0.06
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)						
D/C Ratio: 0.339 = 0.09 + 0.25 + 0.						
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)						
COMPACTNESS						
Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness	
Major/Flange	7.143	9.152	24.083		Compact	
/Web	21.609	90.553	137.274	232.	Compact	
Minor/Flange	7.143	9.152	24.083		Compact	
/Web	21.609	90.553	137.274	232.	Compact	
Axial/Flange	7.143		13.487		Compact	
/Web	21.609		35.884		Compact	
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	0.777	1.	1.	1.	1.	0.977
Minor Bending	0.815	1.	1.	1.	1.	1.
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	0.815	1.	2.169			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
Axial	-3420.249	19088.516	72461.385			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
Major Moment	-1075109.38	4303185.838	4303185.838	2800287.916		
Minor Moment	68.984	1202818.148				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
Major Shear	489.508	18872.62	0.026	OK		
Minor Shear	0.051	27433.268	1.852E-06	OK		

Anexo 3. Verificación del diseño en cuanto a desplazamiento por cargas de servicio, resistencia por cargas de servicio y factor de seguridad de las orejas



Anexo 4. Verificación del diseño de orejas de acuerdo con la asignación de cargas y restricciones



Anexo 4. Recursos para la fabricación

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
FABRICACIÓN						
FABRICACIÓN PLATAFORMA TIPO ELEVADOR						
RENDIMIENTO (kg/HR)				UNIDAD	glb	
2.0				METRADO	736.80	
ITEM	MATERIALES	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	MATERIAL DE ACERO ASTM A36 - TODO EL CONJUNTO	kg	734.80	9.50	6980.60	
2.0	TECLE DE CADENA LARGA DE 2 TN - YALE	Und.	2.00	249.00	498.00	
3.0					0.00	
4.0					0.00	
5.0					0.00	
6.0					0.00	
7.0					0.00	
8.0					0.00	
9.0					0.00	
10.0						
11.0						
12.0		Und.				
13.0	TRASLADO DE MATERIALES LIMA-AQP	KG	736.80	0.25	184.20	
				TOTAL MATERIALES		7662.80
	PRECIO UNITARIO DE MATERIALES (US\$/METRADO)			10.40		
ITEM	CONSUMIBLES	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	soldadura	KG	15.00	6.00	90.00	
2.0	discos de corte y desbaste	ea	15.00	5.00	75.00	
3.0	pintura inorgánico	gln	2.00	40.00	80.00	
4.0	pintura macropoxy 646	gln	1.00	50.00	50.00	
5.0	solventes	gln	3.00	18.00	54.00	
6.0						
7.0						
8.0						

9.0						
				TOTAL CONSUMIBLES		349.00
	PRECIO UNITARIO DE CONSUMIBLES (US\$/METRADO)			0.47		
ITEM	MANO DE OBRA	UND.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	SUP. MECANICO	HR	32.00	24.03	768.96	
2.0	SUP. QC/QA	HR	0.00	13.73	0.00	
3.0	SUP. SEGURIDAD	HR	32.00	24.03	768.96	
4.0	INGENIERO /CADISTA	HR	32.00	20.00	640.00	
5.0	SOLDADOR	HR	16.00	11.00	176.00	
6.0	OPERARIO 1	HR	36.00	10.00	360.00	
7.0	OPERARIO 2	HR	0.00	8.24	0.00	
8.0	OPERARIO 3	HR	0.00	7.72	0.00	
9.0	OFICIAL 1	HR	144.00	8.00	1152.00	
10.0	OFICIAL 2	HR	0.00	8.00	0.00	
11.0	AYUDANTE	HR	72.00	6.00	432.00	
12.0						
	TOTAL DE HORAS HOMBRE		364.00	TOTAL MANO DE OBRA		4297.92
	PRECIO UNITARIO DE LABOR (US\$/METRADO)			5.83		
ITEM	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UND.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	HERRAMIENTAS MANUALES	\$	4297.92	10.00%	429.79	
2.0	CAMION GRUA	HM	8.00	120.00	960.00	
3.0	MAQUINA DE SOLDAR	HM	16.00	7.00	112.00	
4.0	ROLADORA	HM	0.00	4.00	0.00	
5.0	COMPRESORA	HM	16.00	7.00	112.00	
6.0	ESMERILES	HM	36.00	1.00	36.00	
7.0	TALADRO MAGNETICO	HM	16.00	2.68	42.88	
8.0	ANDAMIOS	HM	0.00	3.21	0.00	
				TOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		1692.67
	PRECIO UNITARIO DE POR EQUIPOS (US\$/METRADO)			2.30		
ITEM	EQUIPOS DE SEGURIDAD	CANTIDAD	% DE USO	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	CASCO	11	5.00%	6.85	3.77	

2.0	LENTE DE SEGURIDAD	11	5.00%	1.82	1.00	
3.0	GUANTES DE OPERADOR	11	50.00%	4.55	25.03	
4.0	ZAPATOS DE SEGURIDAD	11	5.00%	19.43	10.69	
5.0	TAPA OIDOS	11	10.00%	0.85	0.94	
6.0	RESPIRADORES 8511	11	10.00%	2.60	2.86	
6.0	RESPIRADORES 8214	0	50.00%	6.50	0.00	
7.0	MAMELUCO	9	5.00%	78.00	35.10	
8.0	ARNESES	0	5.00%	265.78	0.00	
9.0	GUANTES PARA SOLDADOR	1	5.00%	4.55	0.23	
10.0	CARETA DE SOLDADOR	1	5.00%	7.50	0.38	
11.0	CASACA DE CUERO	1	5.00%	7.61	0.38	
12.0	ESCARPINES DE CUERO	1	5.00%	4.38	0.22	
13.0	LUNA DE POLICARBONATO	2	5.00%	0.15	0.02	
14.0	MANDIL DE CUERO	1	5.00%	14.50	0.73	
15.0	TYBEX ANTIACIDO	2	100.00%	5.63	11.26	
16.0	PANTALON DE CUERO	1	5.00%	19.23	0.96	
				TOTAL EQUIPO DE SEGURIDAD		93.54
	PRECIO UNITARIO DE POR EPPs (US\$/METRADO)			0.13		
ITEM	GASTOS POR TRANSPORTE	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	TRASLADO ARENADO	VIAJE	1.00	350.00	350.00	
2.0	CAMIONETA RURAL	DÍAS	0.00	95.00	0.00	
3.0	CAMIONETA 4x4	DÍAS	0.00	85.00	0.00	
4.0	TRASLADO FUERA DE AREQUIPA	VIAJE	0.00	380.00	0.00	
5.0	RETROEXCAVADORA	HR	0.00	48.00	0.00	
				TOTAL GASTOS POR TRANSPORTE		350.00
	PRECIO UNITARIO DE POR TRANSPORTE (US\$/METRADO)			0.475		
ITEM	ACABADO	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	ARENADO	M2	35.17	15.00	527.55	
2.0	SERVICIO DE PINTURA	M2	35.17	35.00	1230.95	
3.0	PLEGAGO	M	0.00	3.80	0.00	

				TOTAL GASTOS POR ACABADO		1758.50
	PRECIO UNITARIO DE POR ACABADOS (US\$/METRADO)			2.39		
ITEM	OTROS	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	RANCHOS	EA	0.00	15.00	0.00	
2.0	LIQUIDOS PENETRANTES	KIT	0.00	40.00	0.00	
3.0	ENTRADA DE PLAQUEO	EA	0.00	576.92	0.00	
				TOTAL GASTOS OTROS		0.00
	PRECIO UNITARIO DE POR PRUEBAS Y ENSAYOS (US\$/METRADO)			0.00		
	PRECIO UNITARIO DIRECTO TOTAL (US\$/METRADO)			21.99		
				COSTO DIRECTO US\$		16204.43
						19445.32

MONTAJE DE PLATAFORMA TIPO ELEVADOR

				UNIDAD	kg	
RENDIMIENTO (KG/HR)	1.5			METRADO	736.80	
ITEM	MATERIALES	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0		kg			0.00	
12.0						
13.0					0.00	
				TOTAL MATERIALES		0.00
	PRECIO UNITARIO DE MATERIALES (US\$/METRADO)			0.00		
ITEM	CONSUMIBLES	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	soldadura	KG	10.00	6.00	60.00	
2.0	discos de corte y desbaste	UND.	10.00	5.00	50.00	
3.0	pintura inorganico	gln	0.00	82.00	0.00	
4.0	pintura macropoxy 646	gln	1.00	50.00	50.00	
5.0	solventes	gln	1.00	18.00	18.00	
6.0	GAS PROPANO	BAL	0.00	45.00	0.00	
7.0	OXIGENO	BAL	0.00	30.00	0.00	

8.0	escobilla circular	ea	5.00	3.89	19.45	
9.0						
				TOTAL CONSUMIBLES		197.45
	PRECIO UNITARIO DE CONSUMIBLES (US\$/METRADO)			0.27		
ITEM	MANO DE OBRA	UND.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	SUP. MECÁNICO	HR	48.00	26.44	1269.12	
2.0	SUP. QC/QA	HR	12.00	15.10	181.20	
3.0	SUP. SEGURIDAD	HR	48.00	26.44	1269.12	
4.0	DIBUJANTE	HR	12.00	5.66	67.92	
5.0	SOLDADOR	HR	24.00	10.80	259.20	
6.0	OPERARIO 1	HR	48.00	9.63	462.24	
7.0	OPERARIO 2	HR	0.00	9.06	0.00	
8.0	OPERARIO 3	HR	0.00	8.49	0.00	
9.0	OFICIAL 1 (5 OFICIALES)	HR	240.00	7.93	1903.20	
10.0	OFICIAL 2	HR	0.00	6.80	0.00	
11.0	AYUDANTE	HR	48.00	5.43	260.64	
12.0						
	TOTAL DE HORAS HOMBRE		480.00	TOTAL MANO DE OBRA		5672.64
	PRECIO UNITARIO DE LABOR (US\$/METRADO)			7.70		
ITEM	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	UND.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	HERRAMIENTAS MANUALES (0,05 MO)	\$	5672.64	10.00%	567.26	
2.0	CAMIÓN GRUA	HM	6.00	120.00	720.00	
3.0	MÁQUINA DE SOLDAR	HM	10.00	7.00	70.00	
4.0	DOBLADORA DE TUBOS	HM	0.00	12.10	0.00	
5.0	COMPRESORA	HM	0.00	38.46	0.00	
6.0	ESMERILES	HM	15.00	5.00	75.00	
7.0	TALADRO PERCUTOR	HM	6.00	2.68	16.08	
8.0	ANDAMIOS	HM	60.00	10.00	600.00	
				TOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		2048.34
	PRECIO UNITARIO DE POR EQUIPOS (US\$/METRADO)			2.78		
ITEM	EQUIPOS DE SEGURIDAD	CANTIDAD	% DE USO	P.U	PARCIAL	TOTAL

1.0	CASCO	11	1.00%	6.85	0.75	
2.0	LENTE DE SEGURIDAD	11	1.00%	1.82	0.20	
3.0	GUANTES DE OPERADOR	11	5.00%	4.55	2.50	
4.0	ZAPATOS DE SEGURIDAD	11	1.00%	19.43	2.14	
5.0	TAPA OIDOS	11	1.00%	0.85	0.09	
6.0	RESPIRADORES 8511	11	50.00%	2.60	14.30	
6.0	RESPIRADORES 8214	0	50.00%	6.50	0.00	
7.0	MAMELUCO	7	5.00%	78.00	27.30	
8.0	ARNESES	7	5.00%	265.78	93.02	
9.0	GUANTES PARA SOLDADOR	2	5.00%	4.55	0.46	
10.0	CARETA DE SOLDADOR	2	5.00%	7.50	0.75	
11.0	CASACA DE CUERO	2	5.00%	7.61	0.76	
12.0	ESCARPINES DE CUERO	2	5.00%	4.38	0.44	
13.0	LUNA DE POLICARBONATO	2	5.00%	0.15	0.02	
14.0	MANDIL DE CUERO	2	5.00%	14.50	1.45	
15.0	TYBEX ANTIACIDO	6	100.00%	5.63	33.78	
16.0	PANTALON DE CUERO	2	5.00%	19.23	1.92	
				TOTAL EQUIPO DE SEGURIDAD		179.88
	PRECIO UNITARIO DE POR EPPs (US\$/METRADO)			0.24		
ITEM	GASTOS POR TRANSPORTE	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	TRASLADO ARENADO	VIAJE	0.00	215.38	0.00	
2.0	CUSTER TRALADO PERSONAL	DÍAS	3.00	150.00	450.00	
3.0	CAMIONETA 4x4	DÍAS	3.00	100.00	300.00	
4.0	TRASLADO A MINA SMCV	VIAJE	1.00	380.00	380.00	
5.0	RETROEXCAVADORA	HR	0.00	48.00	0.00	
				TOTAL GASTOS POR TRANSPORTE		1130.00
	PRECIO UNITARIO DE POR TRANSPORTE (US\$/METRADO)			1.534		
ITEM	ACABADO	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	ARENADO	M2	0.00	0.00	0.00	
2.0	SERVICIO DE PINTURA	M2	0.00	0.00	0.00	
3.0						

				TOTAL GASTOS POR ACABADO		0.00
	PRECIO UNITARIO DE POR ACABADOS (US\$/METRADO)			0.00		
ITEM	OTROS	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.0	RANCHOS	EA	27.00	15.00	405.00	
2.0	LIQUIDOS PENETRANTES	KIT	0.00	40.00	0.00	
3.0	ENTRADA DE PLAQUEO	EA	0.00	576.92	0.00	
				TOTAL GASTOS OTROS		405.00
	PRECIO UNITARIO DE POR PRUEBAS Y ENSAYOS (US\$/METRADO)			0.55		
	PRECIO UNITARIO DIRECTO TOTAL (US\$/METRADO)			13.07		
					COSTO DIRECTO US\$	
					9633.32	
					11559.98	

Anexo 5. Gantt de planificación y ejecución del proyecto

