



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**IMPLEMENTACIÓN DE REPULPEADOR CÓNICO Y MOLINO
DE BOLAS CON CHAQUETAS PARA LA RECUPERACIÓN DE
MERCURIO Y ORO EN RELAVES DE AMALGAMACIÓN**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MIRIAM GLEJNI PACSI CARCAHUSTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**IMPLEMENTACIÓN DE REPULPEADOR C
ÓNICO Y MOLINO DE BOLAS CON CHAQ
UETAS PARA LA RECUPERACIÓN DE ME
RCU**

AUTOR

Miriam Gleyni Pacsi Carcahusto

RECuento DE PALABRAS

19604 Words

RECuento DE CARACTERES

102730 Characters

RECuento DE PÁGINAS

127 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 3, 2023 3:30 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 3, 2023 3:31 PM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 11% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)


ESTEBAN R. CHAVEZ GUTIERREZ
ASESOR

Dr. Esteban Rey Chávez Gutiérrez
INGENIERO METALURGISTA
CIP. 02286



Dra. Darssy Argélida Carpio Ramos
Directora de la Unidad de Investigación
EPIM



DEDICATORIA

A Dios, porque de él es la sabiduría y de su boca proviene el conocimiento y la inteligencia.

A mis queridos padres Cirilo Pacsi y Norma Carcahusto por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar, educación enseñándome a valorar todo lo que tengo y cultivando en mí el deseo de superación, siendo mi apoyo incondicional en todo momento.

Siempre hay un mañana y la vida nos da otra oportunidad para hacer las cosas bien.

Gabriel García Márquez

Miriam Gleyni Pacsi Carcahusto



AGRADECIMIENTOS

- Agradezco al Ing. Ruben L. Pelinco Quispe Superintendente General de Corporación Minera Ananea S.A. por ser quien confió en mi trabajo, dándome las facilidades para realizar mi tesis de investigación en dicha empresa, y con ello obtener el título profesional para de esta forma lograr un objetivo más en esta sublime carrera.
- la Universidad Nacional Del Altiplano, mi casa de estudios, donde me formé, a los docentes que tuve la dicha de tener en mi formación académica, en especial a mi director de tesis D.Sc. Esteban Rey Chávez Gutiérrez por el tiempo que me brindo para mi asesoramiento.
- A mis miembros del jurado: Dr. Hipólito Córdova Gutiérrez, Mag. Julio Alberto Maquera Gil y M.Sc. Oswaldo Luzver Maynas Condori, por el apoyo necesario para la realización de este trabajo.

Miriam Gleyni Pacsi Carcahusto



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	20
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Hipótesis general.....	21
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1. Objetivo general	21
1.5.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES.....	22



2.2. MARCO TEÓRICO	24
2.2.1. Mineralogía del oro	24
2.2.1.1. Manto 4.....	25
2.2.1.2. Manto 6.....	25
2.2.1.3. Manto 11	26
2.2.1.4. Manto 12.....	26
2.2.2. El mercurio.....	26
2.2.2.1. Adsorción de mercurio en el cuerpo humano	29
2.2.2.2. Uso de mercurio en la amalgamación de oro.....	30
2.2.2.3. Técnicas metalúrgicas aplicadas de amalgamación.....	31
2.2.2.4. Mercurio en relaves de amalgamación	32
2.2.2.5. Pérdida de oro en el proceso de amalgamación.....	33
2.2.3. Operación gravimétrica.....	34
2.2.3.1. Criterios de concentración	34
2.2.4. Repulpeador	35
2.2.5. Molino de bolas.....	36
2.2.5.1. Partes del molino de bolas	38
2.2.5.2. Modelos de forros o chaquetas	39
2.2.6. Descripción del proceso planta concentradora CMASA.....	40
2.2.6.1. Transporte y almacenamiento de mineral Mina-Planta	41
2.2.6.2. Grizzli o parrilla fija	41
2.2.6.3. Chancadora de mandíbula.....	41
2.2.6.4. Faja transportadora N° 1	42
2.2.6.5. Tolva de finos	42
2.2.6.6. Faja transportadora N° 2	42



2.2.6.7. Molino de bolas	42
2.2.6.8. Concentrador Jigs Dúplex.....	43
2.2.6.9. Clasificador helicoidal	44
2.2.6.10. Hidrociclón	44
2.2.6.11. Circuito de flotación	45
2.2.6.12. Celdas Serrano	46
2.2.6.13. Celdas Denver.....	46
2.2.6.14. Tanques de concentrado	46
2.2.6.15. Circuito número 2	47
2.2.6.16. Molino amalgamador.....	47
2.2.6.17. Circuito de cianuración.....	48

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	50
3.1.1. Ubicación	50
3.1.2. Ubicación geográfica	51
3.1.3. Acceso	51
3.1.4. Clima y temperatura.....	52
3.1.5. Flora y fauna	53
3.2. METODOLOGIA	53
3.2.1. Tipo de la investigación	53
3.2.2. Diseño de la investigación	53
3.2.3. Población.....	53
3.2.4. Muestra.....	54
3.3. MATERIALES.....	54



3.3.1.	Equipos e instrumentos	54
3.3.2.	Insumos	55
3.3.3.	Análisis.....	55
3.4.	VARIABLES	55
3.4.1.	Variable dependiente.....	55
3.4.2.	Variable independiente.....	56
3.5.	TECNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS	56
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS EN LA EVALUACIÓN DEL PÉRDIDA DE MERCURIO Y ORO EN LOS RELAVES.....	57
3.6.1.	Recolección de datos de la pérdida de mercurio.....	57
3.6.2.	Recolección de datos de la perdida de oro	58
3.7.	IMPLEMENTACION DEL REPULPEADOR CONICO Y MOLINO DE BOLAS CON CHAQUETAS	60
3.7.1.	Tolva de alimentación	61
3.7.2.	Repulpeador	62
3.7.3.	Molino de Bolas 2 x 3´ con chaquetas	65
3.7.4.	Bomba de lodos.....	69
3.7.5.	Descripción del proceso	70
3.7.5.1.	Transporte del relave de concentrado.....	70
3.7.5.2.	Muestreo de relave.....	70
3.7.5.3.	Repulpeador.....	71
3.7.5.4.	Molino de bolas	72
3.7.5.5.	Bomba de lodos	73
3.7.6.	Proceso descarga de los equipos implementados.....	74
3.7.6.1.	Descarga	74



3.7.6.2.	Remolienda de concentrado.....	76
3.7.6.3.	Exprimido	77
3.7.6.4.	Refogado.....	77
3.7.6.5.	Pesado	78
3.8.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS EN LA EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DEL MERCURIO Y ORO	78
3.8.1.	Caracterización de relave	78
3.8.2.	Pruebas de gravimetría.....	79
3.8.3.	Pruebas de molienda	80
3.8.4.	Procesamiento de la información	80
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSION		
4.1.	EVALUACIÓN DE PÈRDIDA DE MERCURIO Y ORO EN RELAVES DE CONCENTRADO	81
4.1.1.	Evaluación de pérdida de mercurio.....	81
4.1.2	Costo de mercurio	82
4.1.3.	Pérdida de oro en relave.....	83
4.1.4.	Costo de oro	83
4.2.	EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	85
4.2.1.	Costos de instalación.....	85
4.2.2.	Fuerza laboral.....	87
4.2.3.	Costo de insumos	87
4.2.4.	Costo de energía.....	88
4.2.5.	Resumen neto de costos generados	89



4.3. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE	
MERCURIO Y ORO	89
4.3.1. Pérdida de mercurio generada	89
4.3.2. Recuperación de mercurio.....	91
4.3.3. Perdida de mercurio en porcentajes	92
4.3.4. Perdida de oro	95
4.3.5. Recuperación de oro.....	96
4.3.6. Recuperación de oro en porcentajes.....	97
4.3.7. Ingresos generados	98
4.4. DISCUSIÓN	99
V. CONCLUSIONES.....	101
VI. RECOMENDACIONES.....	102
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS.....	107

Área: Proyectos y Diseños de Plantas Metalúrgicas.

Tema: Recuperación de Mercurio y Oro en Relave.

Fecha de sustentación: 06 de julio 2023.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mercurio Metálico Hg.....	27
Figura 2. Circuito abierto de operaciones	31
Figura 3. Circuito cerrado de operación.....	32
Figura 4. Repulpeador Cónico.....	36
Figura 5. Molino de bolas.....	37
Figura 6. Función de las bolas dentro del molino	38
Figura 7. Tipos de revestimiento para molino de bolas	40
Figura 8. Flow Shett Planta- CMASA.....	49
Figura 9. Ubicación del proyecto	50
Figura 10. Ubicación geográfica.	51
Figura 11. Plan de trabajo para el proyecto de investigación.....	57
Figura 12. Tolva de almacén de relave.....	62
Figura 13. Repulpeador cónico implementado.....	64
Figura 14. Molino de bolas implementado.....	68
Figura 15. Bomba de lodos horizontal	69
Figura 16. Traslado de relave	70
Figura 17. Muestreo de Relave.....	71
Figura 18. Alimentación de Repulpeador Cónico	72
Figura 19. Molino de bolas 2x3”	73
Figura 20. Bomba de lodos.....	73
Figura 21. Diagrama de Flujo del circuito	74
Figura 22. Descarga de repulpeador cónico implementado	75



Figura 23. Desenchquetado del molino de bolas 2x3” implementado	75
Figura 24. Descarga de remolienda de concentrado.....	76
Figura 25. Exprimido de amalgama.	77
Figura 26. Retorta.....	77
Figura 27. Balanza METTLER TOLEDO	78
Figura 28. Análisis de pérdidas por campaña octubre – diciembre 2021.....	81
Figura 29. Análisis de pérdidas de mercurio por campaña Febrero – Abril 2022	90
Figura 30. Gráfico de porcentaje de recuperación y pérdida de mercurio Febrero - Abril	93
Figura 31. Gráfico comparativo de porcentaje de recuperación de mercurio Octubre - Abril.....	95
Figura 32. Gráfico comparativo de recuperación de oro Octubre-Abril.	97



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Concepto del criterio de concentración	35
Tabla 2. Vías de acceso	52
Tabla 3. Temperatura de la zona.....	52
Tabla 4. Variables	56
Tabla 5. Análisis químico de oro	59
Tabla 6. Tonelaje de relave de amalgamación generado	60
Tabla 7. Cuadro de balance de bolas del molino	68
Tabla 8. Tonelaje Tratado.....	79
Tabla 9. Ley de relave	79
Tabla 10. Pérdida de mercurio.....	81
Tabla 11. Costo de perdida de mercurio en soles	82
Tabla 12. Pérdida de Au	83
Tabla 13. Costo de Oro en Soles	83
Tabla 14. Cuadro de perdida de mercurio y oro en g/Tn.....	84
Tabla 15. Costos de instalación de los equipos y accesorios.....	85
Tabla 16. Balance mensual de equipos.....	86
Tabla 17. Costos de Fuerza laboral.....	87
Tabla 18. Costo de insumos utilizados	87
Tabla 19. Horas de operación de equipos.....	88
Tabla 20. Costo de energía	88
Tabla 21. Resumen de costo generados	89
Tabla 22. Pérdida de mercurio.....	90



Tabla 23.	Recuperación de mercurio con los equipos implementados.....	91
Tabla 24.	Cuadro de perdida y recuperación de mercurio en g/Tn	92
Tabla 25.	Pérdida de mercurio en porcentajes de febrero-Abril 2022.....	93
Tabla 26.	Cuadro comparativo de Perdida de mercurio en porcentaje de octubre -abril	94
Tabla 27.	Perdida de oro	95
Tabla 28.	Recuperación de oro con los equipos implementados.....	96
Tabla 29.	Cuadro general de perdida y recuperación de oro en g/Tn.....	96
Tabla 30.	Recuperación de oro en porcentaje.....	97
Tabla 31.	Recuperación en soles	98



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%	: Porcentaje
°C	: Grados Celsius
Au	: Oro
C.P.	: Centro Poblado
Cm	: Centímetro
G	: Gramo
Hg	: Mercurio
HP	: Horse Power
Kg	: Kilogramo
Km	: Kilometro
M	: Metro
m.s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar
m³	: Metro cúbico
Mg	: Miligramo
O/F	: Over flow
RPM	: Revoluciones por minuto
S.A.C.	: Sociedad Anónima Cerrada



- TMH** : Tonelada Métrica Húmeda
- Tn** : Tonelada
- U.E.A** : Unidad Económica Administrativa
- UTM** : Sistema de coordenadas universal



RESUMEN

El presente proyecto de investigación se realizó en la planta concentradora Corporación Minera Ananea S.A. Ubicado en el C.P. Lunar de oro -Rinconada Distrito Ananea, Provincia San Antonio de Putina y Departamento de Puno; evaluándose preliminarmente la pérdida de mercurio y oro que se generan mensualmente en los relaves de amalgamación los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2021, tomando muestra para la recolección de datos 90.727 toneladas de relave en donde se obtuvieron pérdidas de 18 909.60 g de Hg y 2 382.76 g de Au, siendo la pérdida generada promedio Au de 26.263 g/Tn y Hg de 208.42g/Tn de relave. Seguidamente se implementó un repulpeador cónico y molino de bolas para su recuperación. La presente investigación es tipo experimental descriptivo. Se realizó el tratamiento de los relaves de amalgamación con los equipos implementados durante los meses de febrero, marzo y abril del 2022 en donde se procesó 104.537 toneladas de relave recolectando datos de pérdida de mercurio y ley de Au, obteniendo una recuperación de 19 400.30 g de Hg y 2958.00 g de Au con una recuperación promedio de Hg es de 185.58 g/Tn, y Au de 28.296 g/Tn. Por lo tanto, se concluye que con la implementación del repulpeador cónico y molino de bolas se obtiene una recuperación de un 72.33% de mercurio y un 86.41% de oro. Lo que representaría S/. 176,975.68 Nuevos soles por mes que se genera de ingreso adicional para la empresa.

Palabras clave: Mercurio, Oro, Relave y Recuperación.



ABSTRACT

The present research project was conducted in the concentrator plant Corporación Minera Ananea S.A. Located in the C.P. Lunar de oro -Rinconada Ananea District, San Antonio de Putina Province and Department of Puno; preliminarily evaluating the loss of mercury and gold that are generated monthly in the amalgamation tailings the months of October, November and December 2021, taking sample for data collection 90. 727 tons of tailings where losses of 18,909.60 g of Hg and 2,382.76 g of Au were obtained, being the average loss generated Au of 26.263 g/Tn and Hg of 208.42g/Tn of tailings. Then, a conical repulper and ball mill were implemented for its recovery. The present investigation is a descriptive experimental type. The treatment of amalgamation tailings was carried out with the equipment implemented during the months of February, March and April 2022 where 104,537 tons of tailings were processed collecting data on mercury loss and Au grade, obtaining a recovery of 19,400.30 g of Hg and 2958.00 g of Au with an average recovery of Hg of 185.58 g/Tn, and Au of 28.296 g/Tn. Therefore, it is concluded that with the implementation of the conical repulper and ball mill a recovery of 72.33% of mercury and 86.41% of gold is obtained. This would represent S/. 176,975.68 Nuevos soles per month, which would generate additional income for the company.

Keywords: Mercury, Gold, Tailings and Recovery.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de empresas dedicadas a la explotación minera en la región de Puno, están categorizadas como: Pequeña minería, que poseen una capacidad instalada de producción/o beneficio no mayor a 350 Tm/día - metálica y la minería artesanal con una capacidad instalada de producción y/o beneficio, no mayor a 25Tm/día – metálica (Ley N°27651, 2002).

En el ámbito del presente estudio, se obtiene como producto final el oro mediante procesos de amalgamación utilizando con mayor intensidad dos equipos, uno de ellos rudimentario como el quimbaleta (trapiche) y otro el molino. La técnica de amalgamación se utiliza con profusión, debido a su sencillez, razonable eficacia y por la poca inversión de capital (Cuentas & Velarde, 2019). Sin embargo, las condiciones de la utilización del mercurio en la pequeña minería y minería artesanal generan grandes afectaciones al ser humano y medio ambiente (Pazmiño & Muñoz, 2014). generando relaves de amalgamación/concentrado con contenido de mercurio y oro fino que no pueden ser recuperados por dichos procesos.

Los relaves del proceso de amalgamación son acumulados en canchas acondicionadas de relave y otros vendidos a plantas acopiadoras de Juliaca, Chala y Nazca para pasar por un proceso de cianuración en el cual siempre hay presencia de mercurio (Hg) y ello afecta en dos campos, uno en cuanto al proceso sobresaturación del carbón activado y dos en cuanto a la naturaleza, contaminación y emisión de mercurio (Hg) al medio ambiente (Chacnama, 2016). Se tendría que concentrar el relave de



amalgamación el cual reduciría la cantidad de mercurio antes de utilizar cianuro no obstante, todavía no existen métodos estandarizados con este fin (Telmer & Daniel, 2012).

En la actualidad la planta de beneficio de Corporación Minera Ananea S.A. Procesa 20 TMD, el mineral tratado proviene de la U.E.A ANA MARIA ubicado en C.P. Lunar de Oro, Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno. de los frentes minados San Antonio y Santa Ana, en donde su caracterización mineralógica tiene presencia de: oro, sulfuros, sulfosales, óxidos, silicatos y no metálicos con una ley Au promedio de 9 a 10 g/Tm; el cual es recuperado con mercurio en diferentes etapas. El mayor porcentaje de recuperación aurífera se da en el molino de bolas 4x4” el cual es desenchquetado (descarga) cada 15 días, posterior a eso se recupera el oro con otros equipos que son Jig Dúplex y trapiche, para lo cual se generan descargas diarias de concentrado para luego ser llevados a molinos amalgamadores donde se le da una remolienda con mercurio en donde se obtiene amalgama (oro + mercurio), en este proceso genera grandes cantidades de relaves de amalgamación/concentrado que contienen cantidades significativas de mercurio y oro.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Se puede recuperar mercurio y oro que se pierden en los relaves de amalgamación, implementando equipos como un repulpeador cónico y un molino de bolas con chaquetas?



1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto de mercurio y oro se pierde en los relaves de amalgamación que son generados diariamente en la planta concentradora CMASA?
- ¿Cuánto es el costo de implementación y operación del repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas?
- ¿Cuál es el porcentaje de recuperación de mercurio y oro que se obtiene al implementar un repulpeador cónico y un molino de bolas con chaquetas?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto de investigación obtendrá resultados operacionales significativos, Con la implementación de un repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas se dará una alternativa adicional para recuperar el mercurio y oro teniendo así una afectación directa en los relaves que anteriormente no podían ser tratados. dichos equipos son de fácil fabricación y el tratamiento del proceso son de bajos costos operativos. Al recuperar mercurio y oro con estos equipos generan dos objetivos importantes en el proceso de cianuración los cuales son:

- Recuperación de oro antes del proceso de cianuración.
- Menos saturación del carbón activado con mercurio.

Al recuperar mercurio y oro se obtendrá mayores ingresos para la empresa, el mercurio recuperado genera menos impacto ambiental en el medio ambiente, siendo una alternativa positiva para la pequeña minería.



1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

La implementación de un repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas en la planta de beneficio de Corporación Minera Ananea SA, permite recuperar mercurio y oro en los relaves de amalgamación generados diariamente.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Implementar un repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas, para recuperar mercurio y oro en relaves procedentes de amalgamación que son generados diariamente en la planta concentradora CMASA.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la pérdida de mercurio y oro en relaves procedentes de amalgamación que son generados diariamente en la planta concentradora CMASA.
- Evaluar el costo de implementación y operación del repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas.
- Evaluar el porcentaje de recuperación de mercurio y oro con la implementación de un repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes de investigación, que se utilizaron como referencia para el desarrollo de la presente investigación fueron las siguientes:

Chacnama (2016) en su tesis de investigación, utilizó un método experimental, donde logró recuperar mercurio de los relaves auríferos tratados por la CIA Minera Jerusalén S.A.C. de Arequipa en áreas previas a la adsorción, con la implementación de un repulpeador de base cónica, elutriador y trampa gravimétrica dando un total de un 90.11% de mercurio, junto con el mercurio se logró recuperar oro hasta un 11.54%.

Villegas (2015) en su tesis de investigación tiene como objetivo principal optimizar el tratamiento de los minerales auríferos por el método de carbón en pulpa (CIP), en la minera Colibrí S.A.C. donde tratan mineral fresco y relave de acopio los cuales contienen oro grueso, por lo cual utilizan repulpeadores en la salida de cada molino para recuperar el oro más grueso que no puede ser captado en cianuración con ello ayudando a la optimizando el objetivo principal de la investigación.

Huarecallo (2019) en su tesis de investigación, utilizó un método experimental utilizando un concentrador centrífugo Falcón (concentrador gravimétrico) tratando mineral de la zona minera de Ite, del departamento de Tacna como prueba experimental, en donde se obtuvieron resultados positivos incrementando la extracción de oro de un 35% a un 53.91% logrando ampliar la producción en un 15% obteniendo mejoras económicas y reduciendo el consumo de mercurio que es vertido al medio ambiente por los mineros artesanales de la zona.



Aramburu *et al.* (2010) el trabajo de investigación sobre la recuperación de oro y mercurio de los relaves de amalgamación con tecnología limpia, realizada con los mineros artesanales del distrito de lomas, provincia de Piura. Se utilizó una metodología de investigación en base a pruebas experimentales a nivel del laboratorio. Donde se hicieron pruebas metalúrgicas con un concentrador falcón a diferentes fuerzas de gravedad y granulometría. Los resultados indicaron que puede sustituir el proceso de amalgamación y trabajar con el equipo Falcón, que trabaja mayormente como pre concentrado y para una mayor recuperación debe seguir con el proceso de cianuración.

Valderrama *et al.* (2012) en la revista de la facultad de ingeniería de la Universidad de Atacama –Chile, se realizó un estudio sobre la recuperación de oro a través de la implementación de un concentrador Knelson, con mineral en las diferentes plantas de ENAMI. Obteniéndose resultados favorables con la implementación del concentrador Knelson ya que este mismo ayuda a atrapar oro grueso en la primera etapa y así mejorando las leyes de concentrado en flotación.

Apaza (2018) en su tesis de investigación se centró en la evaluación del contenido de mercurio en las canchas relaveras pertenecientes al proyecto de explotación minera Kolqueparque, comunidad de Sina, Provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno, utilizando la metodología cuantitativa a través del muestreo y análisis de laboratorio, dando como resultados obtenidos una concentración de mercurio equivalente a 226.57mg/kg y en oro fino una concentración de 14,19g/Tm, afectando de esta manera en casi 8% a la economía del proyecto y causando efectos negativos sobre la flora fauna y ecología de la zona.

Cuentas & Velarde (2019) en su artículo relacionado a sobre la perdida de mercurio para la extracción de oro en el C.P. la Rinconada – Puno, utilizó la metodología



experimental de balance de masas en cinco molinos, en los cuales los resultados indicaron que las pérdidas de mercurio emitidas al medio ambiente (relave y refogado), son de 6 a 9 g de Hg para recuperar un g de Au.

Pazmino & Muñoz (2014) en sus estudios realizados sobre la evaluación de las afectaciones de rendimiento por amalgamación, en la planta de beneficio del sector de Chinapintza en la provincia de Zamora Chinchipe- Ecuador, se utilizó un método experimental de balance de masas donde dio como resultados que la recuperación de Au mediante amalgamación es de 33.33%, Sin embargo la mayor parte de Au está presente en el relave con un 60,57%, estos resultados señalan una baja eficiencia en la recuperación de Au mediante el uso del Hg afectando el medio ambiente y generando una pérdida económica dado que no son aprovechados.

Telmer & Stapper (2012) en su guía para la reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala, indica que se considera una mala práctica procesar con cianuro el relave de amalgamación, porque contienen grandes cantidades de mercurio que al entrar al proceso de lixiviación se presenta como un compuesto disuelto de mercurio-cianuro que causa grandes daños al medio ambiente.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Mineralogía del oro

Los yacimientos minerales de la zona de Rinconada – Puno están compuestas con estructuras mineralizadas en forma de mantos los cuales están separados entre 0.50 a 30 m, estando la mineralización situados en los espacios libres de los planos de estratificación de las pizarras, el mineral es de cuarzo hialino con contenidos de oro nativo y pirita, y en menor proporción galena, estibina y otros sulfuros, habiéndose determinado que el oro no está asociado a la



pirita (Vargas, 1995). Los principales mantos que se trabajan actualmente en Corporación Minera Ananea S.A. son:

2.2.1.1. Manto 4

Este manto está compuesto principalmente de cuarzo gris o ahumado, cuarzo blanco, pirita, arsenopirita, galena y con algunas alteraciones de clorita y otros. A si mismo presenta fallas con orientaciones de Nor-oeste a Sur-este buzando al Nor-este, con rellenos de arcillas creando inestabilidad en las labores como inclinados, subniveles, tajos y galerías; así mismo produciendo un ligero desplazamiento del manto que llegan entre 10cm a 50cm de desplazamiento. Otra característica de este manto es que su potencia es variada, teniendo zonas en donde puede llegar a los 6cm a 8 cm de potencia y en otras zonas de 40cm a 50cm, presentan minerales como fenocristales de cuarzo de 5mm a 2cm.

2.2.1.2. Manto 6

las características litológicas de la roca son pizarras laminadas con óxidos de fierro, con incrustaciones de sulfuros en forma de lunares, presentan fallas paralelo al rumbo del buzamiento N-W de la roca caja techo. La mineralogía del manto tiene presencia de pirita, diseminado de calcopirita, alteraciones de clorita, también la presencia de oro nativo.

La potencia de dicho manto es variada llegando de 3cm hasta los 15cm en zonas, en algunos sitios se presenta con potencias casi constantes de 10cm. posee un buzamiento de 16°-18° NE-SW un buzamiento constante.



2.2.1.3. Manto 11

La característica principal de este manto es que en la parte superior nivel san Antonio presenta mineralización de potencias bajas de 6-10cm con baja ley. Y a cotas más inferiores aumenta 15-2cm. Así mismo se presenta plegamientos producidos por una serie de fallas.

Algunos minerales presentes en dicho manto cuarzo (ahumado y lechoso), pirita, calcopirita, galena, clorita y algunos óxidos. Algunas fallas presentes en este manto son de orientación Nor-oeste a Sur-este buzando al Este, con desplazamientos que llegan hasta 8m en vista de perfil. Teniendo en el área de trabajo inestabilidad y teniendo que emplear sostenimientos.

2.2.1.4. Manto 12

Una de las características de este manto es que viene acompañado de un manto secundario en su parte superior, a unos 30 cm del manto real con una potencia que no excede los 4cm. El manto doce tiene una potencia baja de 3 cm a 8cm lo favorable es la ley que tiene y lo hace trabajable. Además de presentar fallas tiene fracturas con separación de 8cm, lo cual hace un problema para poder trabajar y sostener ya que se encuentra en inclinados y subniveles.

2.2.2. El mercurio

El mercurio es un elemento natural que se encuentra en la roca de la corteza terrestre, como en los depósitos de carbón. En la tabla periódica, tiene el símbolo "Hg" y el número atómico es 80. Se encuentra en diversas formas:

- Metil mercurio y otros compuestos orgánicos.
- Mercurio elemental (metálico).
- Compuestos de mercurio inorgánico.



Figura 1. Mercurio Metálico Hg

El mercurio metálico es un metal pesado plateado que a temperatura ambiente es un líquido inodoro. No es buen conductor del calor comparado con otros metales, aunque es buen conductor de la electricidad. Se alea fácilmente con muchos otros metales como el oro o la plata produciendo amalgamas pero no con el hierro. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico. Cuando aumenta su temperatura -por encima de los 40 °C-, produce vapores tóxicos y corrosivos, más pesados que el aire por lo que se evapora creando miles de partículas en el vapor que al enfriarse se depositan de nuevo. Es dañino por inhalación, ingestión y contacto: se trata de un producto muy irritante para la piel, ojos y vías respiratorias, sus características fisicoquímicas son las siguientes:

- Es un metal brillante color plata.
- Se encuentra en estado líquido, a temperatura ambiente.



- Su temperatura de fusión es de $-38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Su temperatura de ebullición es $357,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Su peso específico es $13,6\text{ g/cm}^3$ (0°C).
- El mercurio metálico, debido a su alta presión, evapora fácilmente a temperatura ambiental (a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Su concentración en el aire puede alcanzar hasta $0,014\text{ g/m}^3$, y a 100°C hasta $2,4\text{ g/m}^3$.
- Generalmente se habla de vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida.
- Un gran número de metales, y mayormente oro y plata, forman aleaciones con el mercurio metálico, que se denominan amalgamas. Esta propiedad lo hace atractivo para la recuperación de oro en la pequeña minería aurífera.

Sus propiedades químicas, el mercurio no reacciona con la mayoría de los ácidos, tales como el ácido sulfúrico diluido, aunque los ácidos oxidantes como el ácido sulfúrico concentrado y el ácido nítrico o el agua regia lo disuelven para dar sulfato, nitrato y cloruro. Como la plata, el mercurio reacciona con el ácido sulfhídrico atmosférico. Así mismo, reacciona con copos de azufre sólido, que se utiliza en los equipos para absorberlo en caso de derrame (también se utilizan con este mismo propósito carbón activado y zinc en polvo).



2.2.2.1. Adsorción de mercurio en el cuerpo humano

Los seres humanos absorben el mercurio de muchas maneras:

- A. Por la respiración. Al inhalar vapores de mercurio, el organismo retiene del 75% al 85% del mercurio inhalado, el cual pasa directamente los alvéolos pulmonares.
- B. Por la digestión. Si se trata de mercurio elemental, el sistema digestivo absorbe del 2% al 7% del mercurio ingerido; pero, si se trata de mercurio bajo sus formas oxidadas (mercurio I y II), se absorbe el 95% del mercurio ingerido. Además, si el mercurio ingerido está bajo la forma de metilmercurio, este se absorbe en un 100% a nivel del intestino delgado, principalmente.
- C. Por la piel. Bajo cualquiera de sus formas o estados, el mercurio atraviesa la piel y se acumula en los tejidos.

Una vez absorbido, el mercurio es transportado por la sangre; el metilmercurio se une a la hemoglobina, y desde allí es llevado al hígado y, nuevamente, al torrente sanguíneo, pasando la barrera hemato-encefálica y alojándose en el cerebro y médula espinal; a través de la membrana placentaria se aloja en el feto, En el sistema nervioso se aloja en la 23 sustancia gris del cerebro, cerebelo y médula espinal; asimismo, se aloja en los riñones, hígado, tiroides, glándulas adrenales, páncreas, espermatozoides, cristalino e intestinos (Brack, 2011).



2.2.2.2. Uso de mercurio en la amalgamación de oro

El primer uso de la amalgamación para la producción de oro probablemente data de la minería en Bosnia, en época de Nerón (54 - 68 a.C.) Hasta el día de hoy la minería artesanal aurífera utiliza esta técnica de manera generalizada, El mercurio destaca entre los metales de mayor potencial tóxico, es el contaminante más asociado a la minería aurífera artesanal y aunque su uso es ilegal en muchos países, todavía es extensamente utilizado en Latinoamérica, África y Asia debido a su eficiencia para la separación del oro, a su facilidad de manejo y a su bajo costo (Loza & Cancapa, 2020).

La amalgamación de oro consiste en poner en contacto el metal con mercurio líquido para formar una amalgama, es decir una aleación de mercurio con oro o plata, dando lugar a una partícula revestida de mercurio que tiene propiedades semejantes a la de este último, estas partículas amalgamadas se adhieren unas a otras, de modo similar al de las gotas de mercurio puro, para formar una mayor denominada "amalgama" (Cuentas & Velarde, 2019). Sin embargo, frecuentemente el mineral bruto puede contener ciertos minerales acompañantes y/o impurezas con efectos negativos para el proceso de amalgamación. Algunos de tales problemas se describen a continuación. Los sulfuros de arsénico, antimonio y bismuto reaccionan con el mercurio, produciendo una pérdida significativa del mineral precioso y mercurio. En un ambiente oxidante (p.ej. con aguas ácidas de mina), también la pirrotina y en menor grado la pirita y calcopirita pueden tener un efecto negativo en la amalgamación.

2.2.2.3. Técnicas metalúrgicas aplicadas de amalgamación

Se utiliza tanto en la minería de yacimiento primario (vetas) como en la minería de yacimiento secundario (aluvial). Se puede diferenciar dos tipos principales:

- **Amalgamación en circuito abierto:** el material aurífero pasa por distintos procesos metalúrgicos en una planta concentradora gravimétrica en donde se agrega mercurio en puntos específicos (molinos) en un flujo continuo de pulpa para así amalgamar parte del mineral aurífero y que concentre dentro de los molinos. debido a esto no es posible recuperar todo el mercurio que ingresa ya que una parte de éste, en forma metálica libre (gotas o partículas finísimas) o en forma de amalgama (partículas finas) escapan con la cola, contaminando una gran cantidad de material.

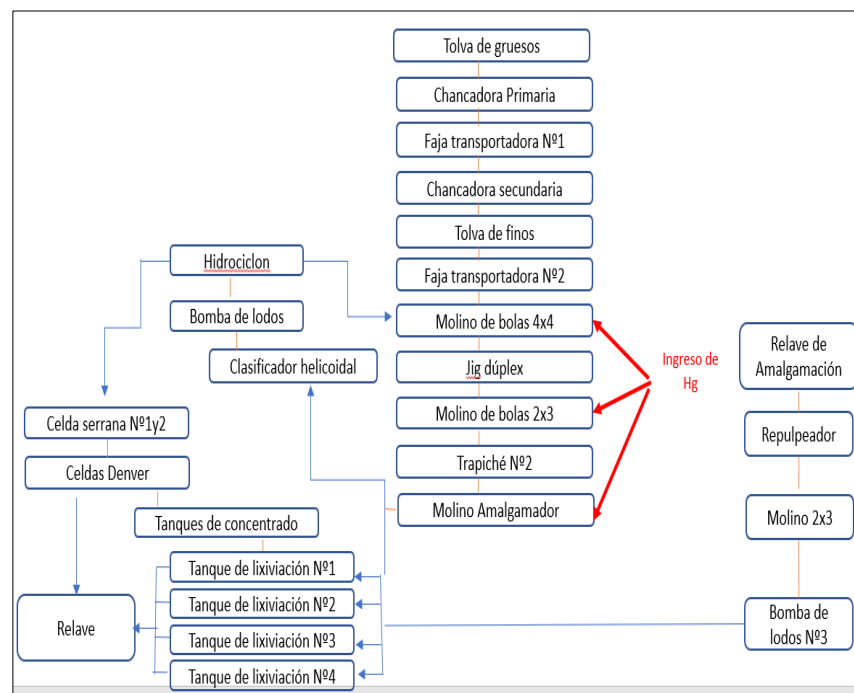


Figura 2. Circuito abierto de operaciones

Fuente: Corporación Minera Ananea S.A.

- **Amalgamación en circuito cerrado:** Este tipo de amalgamación solo se utiliza para una cantidad específica de mineral aurífero que ya tuvo un proceso generalmente gravimétrico al cual se llama “concentrado”, donde la amalgamación se realiza en un molino amalgamador con un balance de bolas al 20%.

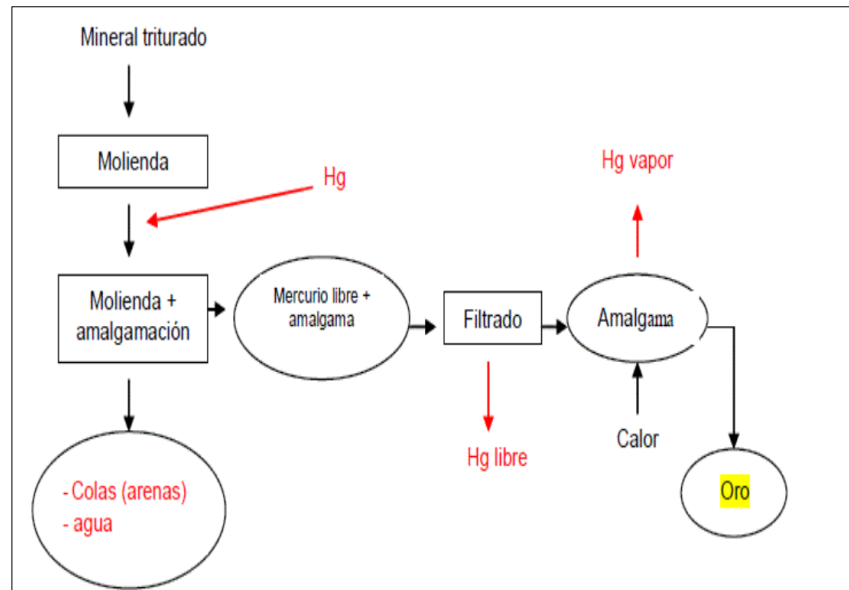


Figura 3. Circuito cerrado de operación

Fuente: (Cuentas & Velarde, 2019).

2.2.2.4. Mercurio en relaves de amalgamación

El proceso de amalgamación se realiza mayormente en la minería en pequeña escala, debido a su bajo costo de inversión, lo cual también genera una recuperación no tan óptima como se espera. Se tienen estudios de recuperación mediante el proceso de amalgamación de un 66% de Au y un 70% de Hg. En donde una parte del mercurio se volatiliza al medio ambiente y la otra parte del mercurio se pierde en los relaves que se generan en este proceso.



Según Apaza (2018) una vez lograda la separación del oro, la solución acuosa que queda en el relave tiene alto contenido de mercurio y de oro (de 0.4 a 1.2 onzas de Au/TM) el contenido de esta sustancia será mayor si el mercurio utilizado es reciclado, ya que pierde su poder de amalgamación. Los relaves de amalgamación son comercializados y llevados a plantas de cianuración en donde el mercurio llega hasta el proceso de absorción de carbón activado.

2.2.2.5. Pérdida de oro en el proceso de amalgamación

El relave resultante del proceso aún tiene un alto contenido de oro, y mayoritariamente es vendido a alguna planta de tratamiento en la ciudad de Chala, ya que no es recuperable con las técnicas de que disponen los mineros artesanales (Costa *et al.*, 2009).

La gran parte de pérdida de oro se da por las siguientes razones, que en mucho de los casos desconoce el minero artesanal.

- Falta de contacto entre el oro y el mercurio (buena amalgamación).
- Cuando el oro es demasiado fino o se presenta en lamillas muy delgadas que sobrenadan sin ponerse en contacto con el mercurio.
- Cuando la superficie del oro está cubierta por materia extrañas.
- Mercurio con apariencia de harina, el cual es incapaz de atacar al oro adecuadamente.
- Mercurio que paso por varios procesos y no se encuentra reactivado.

2.2.3. Operación gravimétrica

La concentración por gravedad es el más sencillo y económico de los métodos de concentración. El uso de este tipo de separación está recomendado siempre que sea practicable porque permite la recuperación de mineral útil en un orden de tamaños tan gruesos como sea posible, reduciendo los costos inherentes a la reducción de tamaño y disminuyendo las pérdidas asociadas a estas operaciones (Navarro, 2017).

2.2.3.1. Criterios de concentración

Llambi (2013) el criterio de concentración es importante en la determinación de qué clase de separación es posible en un caso particular es la gravedad y alguna o más fuerzas, fundamentalmente la primera, en este caso, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{SGh-SGf}{SGg-SGf}$$

Dónde:

- SGh : Gravedad específica del mineral pesado.
- SGg : Gravedad específica de la ganga.
- SGf : Gravedad específica del medio fluido.



Tabla 1.

Concepto del criterio de concentración

Criterio de concentración	Significado
≥ 2.5	Separación eficiente hasta 200 mallas
2.5 – 1.75	Separación eficiente hasta 100 mallas
1.75 – 1.50	Separación posible hasta 10 mallas, sin embargo, es difícil
1.50 – 1.20	Separación posible hasta $\frac{1}{4}$, sin embargo, es difícil

Fuente: Taggart.

2.2.4. Repulpeador

Son pequeños tanques de agitación cuya base es en forma cónica que tienen la función de atrapar el oro grueso del mineral a la cual se le adiciona mercurio (Villegas, 2015). Los cuales tienen instalados una entrada de alimentación de relave, instalación para el agua y salida para el rebose de la pulpa.

Las razones para usar un repulpeador son:

- Cuando el material contiene por encima de 7 % de humedad.
- Cuando el material presenta arcillas sólidas, generando grumos.
- Cuando el mineral a procesar es ya está suficientemente molido, pero tiende a aglomerarse, generando grumos.
- Cuando se tiene relaves húmedos en todas sus particularidades.

El repulpeador de fondo cónico, no hay antecedentes de dicho equipo en todo el ámbito minero metalúrgico; Es como un repulpeador, que cuenta con una modificación, un fondo cónico, ello es dado para captar elementos de alto peso

específico, como el Au, Ag, Hg, Pt, Pb, concentra dichos elementos, claro está que haya en el material a procesar, aprovechando su alto peso específico y la gravedad terrestre. Diseñado para retener la amalgama proveniente de relaves de que contengan mercurio físico (Chacnama, 2016).

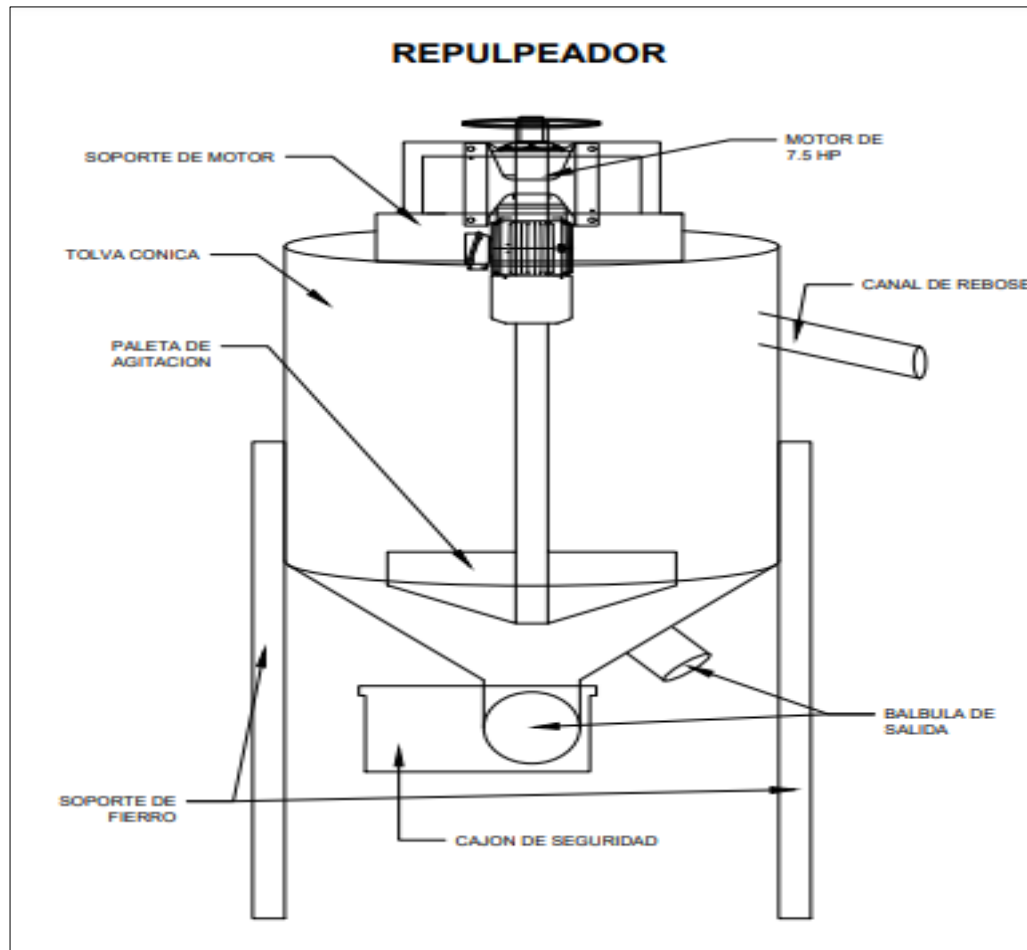


Figura 4. Repulpeador Cónico

2.2.5. Molino de bolas

Los molinos de bolas, tienen una capa cónica o cilíndrica que gira sobre un eje horizontal, y se cargan con un medio de molienda, por ejemplo, bolas de acero, pedernal o porcelana, o bien, con varillas de acero, difiere del tubo en que es de longitud más corta y, por regla general, dicha longitud no es muy distinta a su diámetro; La alimentación a los molinos de bola puede ser de 2.5 a 4 cm (1 a

1 1/2 pulgadas) para materiales muy frágiles, aunque por lo general el tamaño máximo es de 1.3 cm (1/2 pulgadas) el tamaño usual de las bolas más grandes es de 12 cm (4 pulgadas) de diámetro (Chambi, 20113).

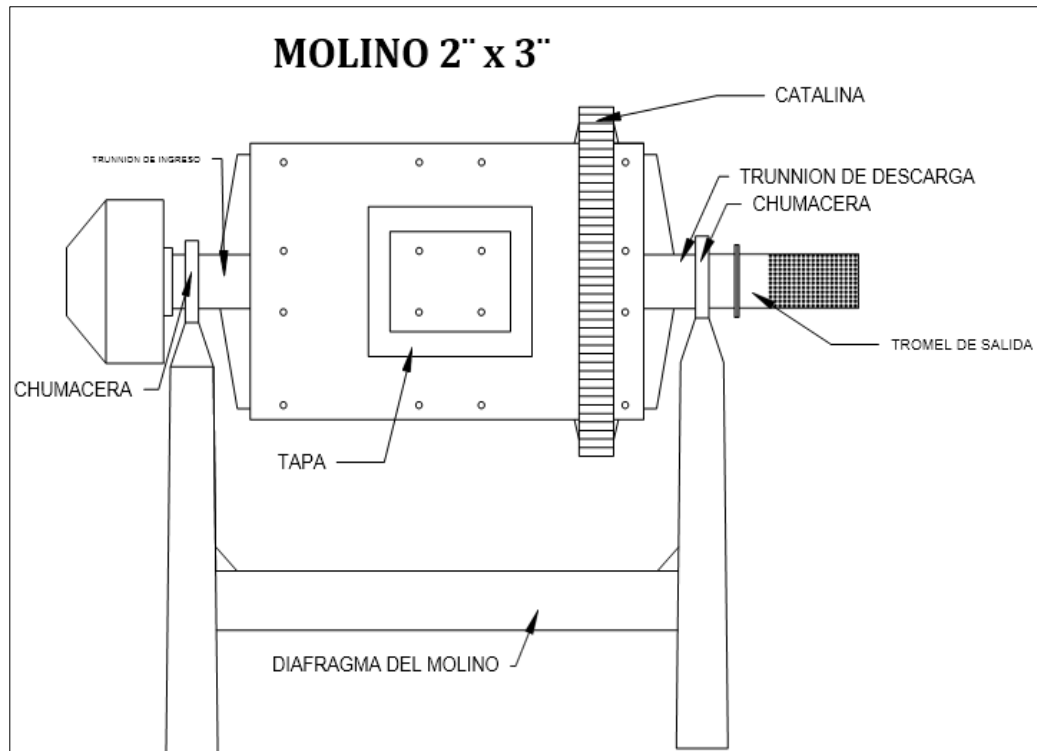


Figura 5. Molino de bolas

Cumplen la función de dar molienda a distintos tipos de mineral tanto metálicos y no metálicos el cual reduce el tamaño de las partículas por una combinación que se da por el impacto de las bolas de acero y la abrasión con el agua generando la pulpa siendo esta la última etapa del proceso de conminución del mineral.

Las bolas de acero, llenan el molino, hasta un promedio de 35% del cuerpo y la pulpa llena el vacío entre las bolas, cubriendo un 35% a 45 % del cuerpo, Cuando gira sobre sus chumaceras , por acción del motor, las bolas junto con el mineral son elevados por acción de rotación y por la forma ondulada de las chaquetas, el mineral junto con las bolas de acero, sube hasta una altura

determinada, de donde posteriormente caen, girando y/o golpeándose entre sí y contra las chaquetas (Manual de operación de molinos, 2011).

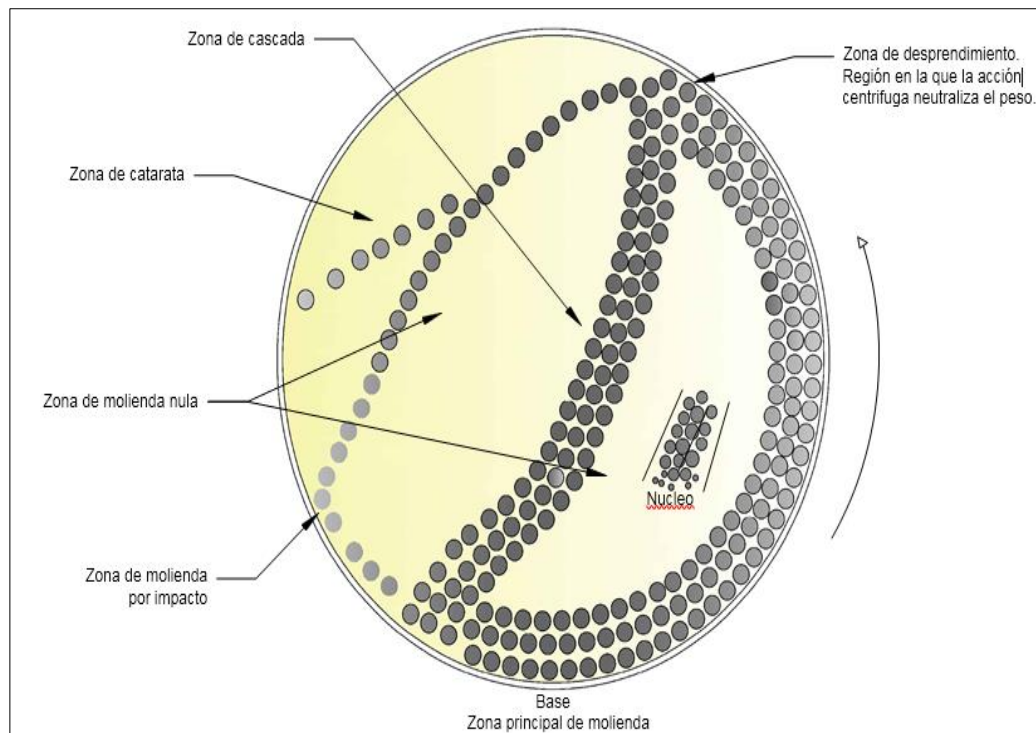


Figura 6. Función de las bolas dentro del molino

2.2.5.1. Partes del molino de bolas

- **Cuerpo o casco del molino:** El casco del molino está diseñado para impactos de carga pesada, es la parte más grande de un molino y está construido de placas de acero forjado. El casco del molino está instalado sobre dos chumaceras o dos cojinetes macizos esféricos.
- **Chumacera:** Se comporta como soporte del molino y a la vez la base sobre la que gira el molino.
- **Tapas:** Soportan los cascos y están unidos al trunión.



- **Forros o Chaquetas:** Sirven de protección del casco de molino, resiste al impacto de las bolas, así como de la misma carga, los pernos que los sostiene son de acero de alta resistencia a la tracción.
- **Truniòn de Descarga:** Es el conducto de descarga del mineral en pulpa, por esta parte se alimenta las bolas, sobre la marcha.
- **Trommel:** Desempeña un trabajo de retención de las bolas especialmente de aquellos por excesivo trabajo han sufrido demasiado desgaste de igual modo sucede con el mineral o rocas muy duras que no pueden ser molidos completamente, por tener una granulometría considerable quedan retenidas en el trommel (Austin & Concha, 1994).

2.2.5.2. Modelos de forros o chaquetas

Existen diferentes modelos de forro o revestimiento que tienen diferentes funciones tanto para molinos de bolas y barras teniendo en cuenta su diseño y aplicación en el proceso de molienda, los forros de las tapas de entrada y salida del molino se fabrican en forma radial y deberán ser de acero al manganeso o al cromo-molibdeno, Si el molino es de diafragma este se construye en fierro fundido (Manual de operación de molinos, 2011).

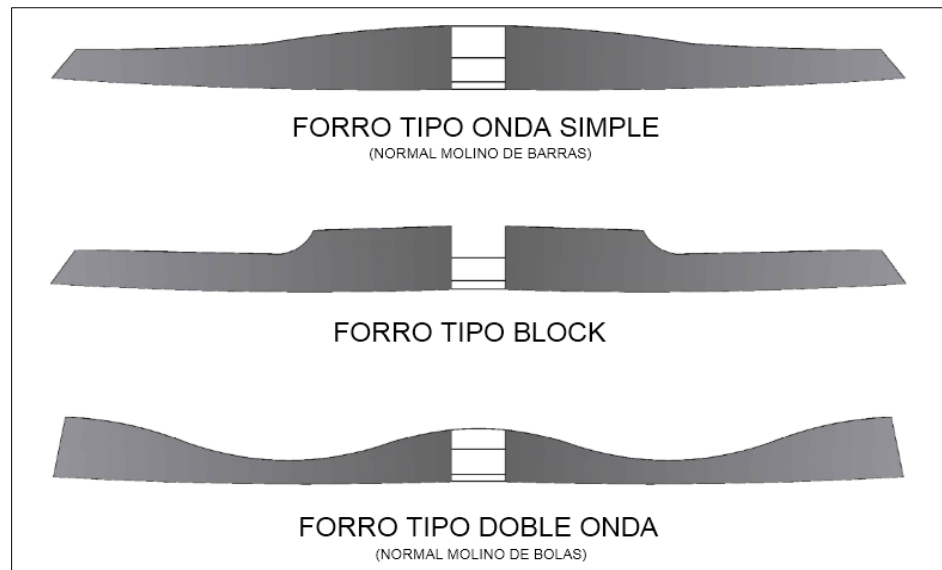


Figura 7. Tipos de revestimiento para molino de bolas

El forro o chaquetas que se utilizan para el molino de bolas de la presente investigación son de tipo onda simple acondicionada para un molino de bolas ya el tamaño del molino es de 2x3”.

2.2.6. Descripción del proceso planta concentradora CMSA

La actividad principal de la Corporación Minera Ananea S.A. es la extracción y procesamiento del oro, operación que se viene realizando desde años atrás, iniciando con pruebas de laboratorio y completando todas sus operaciones llegando actualmente a una capacidad operativa de entre 18 a 20 TMD de mineral fresco. En planta concentradora se realiza el tratamiento de mineral aurífero por los procesos de gravimétricos en donde se obtiene un producto de oro fino por medio de la amalgamación de pre concentrados y el proceso de flotación en donde obtiene un concentrado con un valor de tratamiento para ser procesado por medio de la cianuración.



2.2.6.1. Transporte y almacenamiento de mineral Mina-Planta

El mineral extraído proviene de la explotación minera de las bocaminas: Santa Ana, San Antonio este traslado se realiza por medio de volquetes con un tonelaje aproximado de entre 10 a 15 Tn y con un recorrido de 3 Km y equipo SCOOP con un tonelaje aproximado de 4 a 6 Tn. El mineral proveniente de mina es previamente pesado en una balanza de una tonelada en sección de tolva de grueso.

2.2.6.2. Grizzli o parrilla fija

Son superficies metálicas con aberturas formadas por rieles con una abertura de 6 cm bien distribuidas, cuyo fin es evitar el ingreso de mineral con granulometría mayor dentro de la tolva a fin de evitar daños a la estructura de la tolva de gruesos. La tolva de gruesos está construida de concreto armado con una capacidad de 40 Tn en la parte interna la tolva tiene la forma de un paralelepípedo rectangular y prismático teniendo una compuerta de salida de 60 cm x 50 cm para la alimentación a la chancadora primaria.

2.2.6.3. Chancadora de mandíbula

Se cuenta con una chancadora de 10"x16", marca COMESA con un motor eléctrico de 30 HP, 440V, y una chancadora de 6"x8", marca COMESA con un motor eléctrico de 20 HP, 440V, y estos en condiciones normales puede pasar 3.5 TM por hora, En este tipo de maquinaria el movimiento de la mandíbula móvil, origina una fuerza que actúa sobre el mineral apretando entre ambas mandíbulas. La magnitud de esta fuerza, depende de aquella otra que esta aplicada en la polea del árbol principal,



correspondiente al sistema de palanca que transmite esa fuerza a la mandíbula móvil formando un ángulo de aproximadamente 20°. La mandíbula móvil se mueve a una velocidad que depende de la máquina, acercándose a la mandíbula fija, provocando la fractura del mineral.

2.2.6.4. Faja transportadora N° 1

Después de la etapa de chancado primario y secundario el mineral es transportado a la tolva de finos, mediante una faja de 25m de largo por 41cm de ancho con un grosor de ¼”, dicha función cuenta con un motor eléctrico de 10 HP y una inclinación positiva de 30°.

2.2.6.5. Tolva de finos

Es una estructura metálica de forma cilíndrica con fondo cónico de 10m x 14m de altura, con una capacidad de almacenaje de 20 TM. Y que posee un soporte metálico, se descarga el mineral por la parte inferior mediante un chute a la faja transportadora N°2.

2.2.6.6. Faja transportadora N° 2

Sirve para transportar el mineral proveniente de la tolva de finos. sus dimensiones son de 4.75m de largo por 34cm de ancho y ¼” de espesor. Su función es transportar el mineral entrante de la compuerta de la tolva de finos hacia el molino de bolas.

2.2.6.7. Molino de bolas

El molino de bolas es de marca COMESA de 4x4’, con motor eléctrico marca DELCROSA, de 100 HP, con tablero de control de mando



apartado del tablero de los otros equipos. El molino en su interior tiene bolas de fierro acerado de diferentes diámetros (4", 3", 2" 1 ½) que constituye un 40% de la carga para la molienda del mineral, luego el mineral molido (pulpa) pasa por un concentrador gravimétrico.

2.2.6.8. Concentrador Jigs Dúplex

El jig dúplex permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación del líquido producida por diferentes medios. En la minería aurífera los componentes pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros, en tanto que los livianos son cuarzo y diferentes tipos de roca. Aquí la pulsación producida hidráulicamente (por presión de agua que mueve una válvula de diafragma). En la planta concentradora el mineral molido (pulpa) saliente del molino 4x4 pasa por el concentrador gravimétrico donde se obtiene 02 productos por eso el nombre de Jig Dúplex este concentrador cuenta con un motor marca SIEMENS, de 1 HP, con una potencia de 60 Rpm, se le agrega billas de 1/4". El Jig número uno es donde concentra la mayor cantidad de oro con radio de hasta 1/100 el cual se descarga el pre concentrado cada 4 horas para posteriormente ser procesados por amalgamación. El jig número 2 se descarga cada media hora y este material es la materia prima para alimentar el circuito número 2.



2.2.6.9. Clasificador helicoidal

El clasificador es de 18"x 14" marca COMESA, con motor eléctrico marca SIEMENS, de 4 HP. 175 Rpm. Que al tener con una inclinación de 10° tiene la función de recoger el concentrado de granulometría mayor a la malla deseada y recircular el mineral para el molino 4x4. A este punto llega el rebose proveniente del jig dúplex, así como también se recircula el rebose proveniente del molino amalgamador. Para esto los sólidos se depositan en el fondo de la cuba mientras el transportador eleva lentamente las partículas, sin turbulencia alguna las retira del agua y las escurre antes de la descarga en el scoop del molino 4x4, haciendo que las partículas finas se vayan por el rebose hacia la bomba de lodos N°1.

2.2.6.10. Hidrociclón

A este punto llega el rebose de los Jigs, que vienen por el clasificador helicoidal la cual ejerce una suspensión por la presión que ejerce al momento del bombeo, pasando al hidrociclón mediante un tubo de alimentación que da origen a un movimiento de tipo espiral descendente adecuado al diseño del equipo y la acción de la fuerza de gravedad. A medida que la sección transversal disminuye en la parte cónica se superpone una corriente interior que ocasiona un flujo neto ascendente de tipo espiral a lo largo del eje central, lo que permite que el flujo encuentre en su camino hacia el vortex que actúa como rebalse, creando una clasificación.



- OVERFLOW: Pasa al proceso de flotación, también se realiza la toma de muestra en el reboce para determinar la densidad que tiene la pulpa para luego ir a las celdas serrano este es: 1100 g/l a 1120 g/l que tiene la densidad de la pulpa entrante.
- UNDERFLOW: la pulpa regresa al Clasificador Helicoidal.

2.2.6.11. Circuito de flotación

En esta etapa se realiza la recuperación mediante el proceso de hidrometalurgia para concentrar el oro fino que no fue atrapado en los procesos de gravimetría es por eso que control en esta área es importante debido a que el mineral proveniente de la mina cambia continuamente. Para esto se debe realizar controles en recuperación y radio de concentración, este control puede ser rápido mediante un análisis gravimétrico de plateo, también por los reportes de las leyes de los productos de flotación que se generan diariamente por el departamento de laboratorio químico.

- La Granulometría de la pulpa que ingresa al circuito de flotación debe tener una malla -200 a un 80-84%.
- La Densidad de la pulpa entrante al circuito de flotación es de 1100g/l a 1200g/l, teniendo un pH de pulpa entre 6.5 - 7.5.

La dosificación adecuada de los reactivos, se puede controlar mediante el dosificador de reactivos. En la parte fina-liquida (Over) es donde se adiciona reactivos para que pasen a la celda serrano de flotación N.º 1 (xantato Z-6, xantato Z-11 y Aero 4037P promoter sin diluir, los



cuales actúan como colectores.) a través de un alimentador de reactivos tipo dúplex de 0.4 HP.

2.2.6.12. Celdas Serrano

La planta concentradora cuenta con tres celdas serrano de 1,5m x 2m con una capacidad de 1 m³ en esta etapa se recibe la pulpa fina que ingresa ya con la dosificación de reactivos su principal función es separar la pulpa previamente acondicionada, en un concentrado y relave. En donde el concentrado que rebosa de las celdas serrano es transportado a los tanques de concentrado y el relave que aún tiene ley se dirige a las celdas Denver.

2.2.6.13. Celdas Denver

El relave que pasa de las celdas serrano entra a cuatro celdas COMESA N° 18. Distribuidos en dos celdas rougher, unas celdas scavenger y una celda como Cleaner. de 4m x 1.2m con una capacidad de 0.20 m³ en esta etapa se realiza la recuperación de mineral valioso que no fue recuperado en las celdas serrano. Y se obtiene el relave final que es dirigido a la cancha de relaves.

2.2.6.14. Tanques de concentrado

El concentrado de flotación que ingresa con 1.50 -2.00 g de Au /Tn es depositado en dos tanques de 2m x 2m con una capacidad de 4 toneladas métricas secas cada uno para ser transportado por la bomba de lodos N°3 a los tanques de cianuración para continuar con su proceso.



2.2.6.15. Circuito número 2

Este circuito comprende desde la carga del concentrado del jig N° 2 zona donde se descarga el pre concentrado de mineral que paso por el molino 4x4 el cual tiene un proceso de remolienda donde se alimenta con el pre concentrado a través del sistema de malacate donde se traslada el pre concentrado hacia la tolva de alimentación, en esta parte del proceso los sacos que se procesan. Las proporciones de sacos producidos por día son de 20-30 sacos/día, La carga del concentrado es manual, atravésé de un operador designado al área, este deberá alimentar constantemente tanto a la tolva como también se alimenta al molino de bolas de 2x3.

La alimentación al molino de bolas 2x3 es en forma continua y manual, mediante la tolva con un chute en forma inclinada, a esto se le agrega una dosificación constante de agua 250 ml/min (en forma de goteo constante). después el rebose que sale del molino pasa a lo que se llama trapiche, la cual tiene la forma de un molino de ruedas, la cual gira sobre un eje central y tiene 4 unidades de chaquetas de piso. se alimenta con agua a un caudal de 300ml/min y una dosificación de hidróxido de sodio a concentración del 3%, Y después el rebose del trapiche pasa al molino amalgamador.

2.2.6.16. Molino amalgamador

Este molino es de fabricación de manufacturas J&J es de 2x3 “ con motor eléctrico de 15 HP, al que solo ingresan ocho bolas de 3” ya que el molino no cuenta con chaquetas interiores .Es la última etapa a donde se dirige el rebose de pulpa del molino trapiche en donde se agrega 180



gramos de mercurio cada 4 días después de su descarga para que este atrape el oro que no se pudo recuperar en la anterior etapa, su rebose es recirculado a través de una bomba de lodos N°2 al clasificador helicoidal.

2.2.6.17. Circuito de cianuración

Después que toda la pulpa ha pasado por el circuito de flotación llega a 2 tanques de concentrado las cuales son bombeadas por una bomba de lodos hacia los tanques de cianuración las cuales tienen una caja con una malla #40 para luego posteriormente estar llenando de concentrado de flotación. Para luego sinfonear y así continuar llenando hasta que llegue a su densidad deseada entre 1250g/l a 1300g/l y empezamos con el primer lavado con cal y siguiendo agregamos Solución Barren, seguido de cianuro de sodio la cual se va aumentando progresivamente en kilogramos. Las partículas de oro ya empiezan a lixivarse desde que se agrega 50kg de CN y entre 1 a 2 kilogramos de Soda Caustica, y en el transcurso del proceso se va lixiviándose.

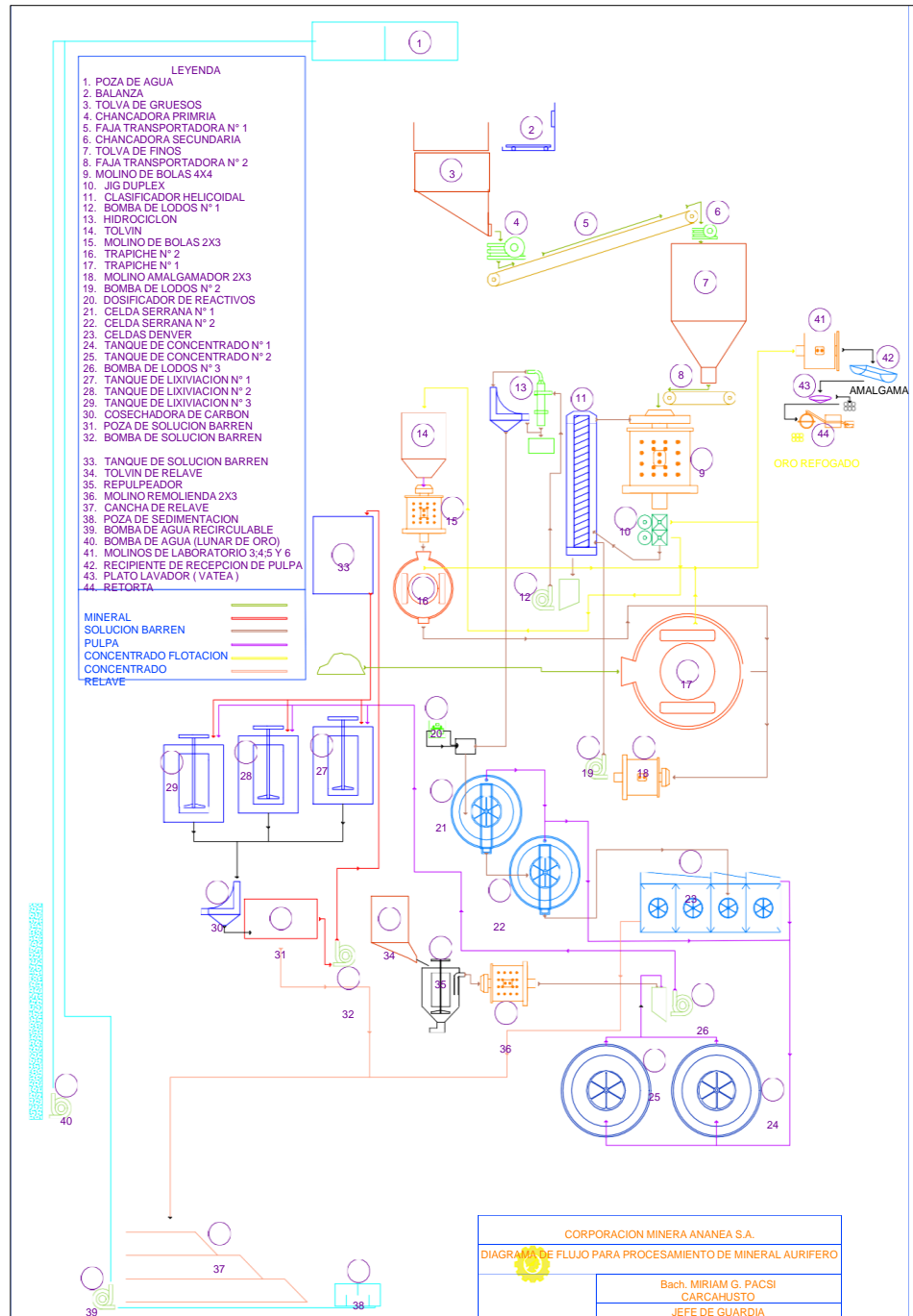


Figura 8. Flow Shett Planta- CMASA.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

El estudio se realizó en las instalaciones de la planta concentradora Corporación Minera Ananea S.A. ubicado en el Departamento de Puno, Provincia De San Antonio de Putina, distrito de Ananea, Entre las prolongaciones occidentales de los nevados de Ananea, pertenecientes a la cadena Aricoma o cordillera de Carabaya, en el paraje denominado Rinconada – Cerro Lunar de Oro.



Figura 9. Ubicación del proyecto

Fuente: Área de proyectos CMASA.

3.1.2. Ubicación geográfica

La altitud de la mina oscila a 4892m.s.n.m. en las coordenadas UTM

WGS-84 E:8382862 N:451507

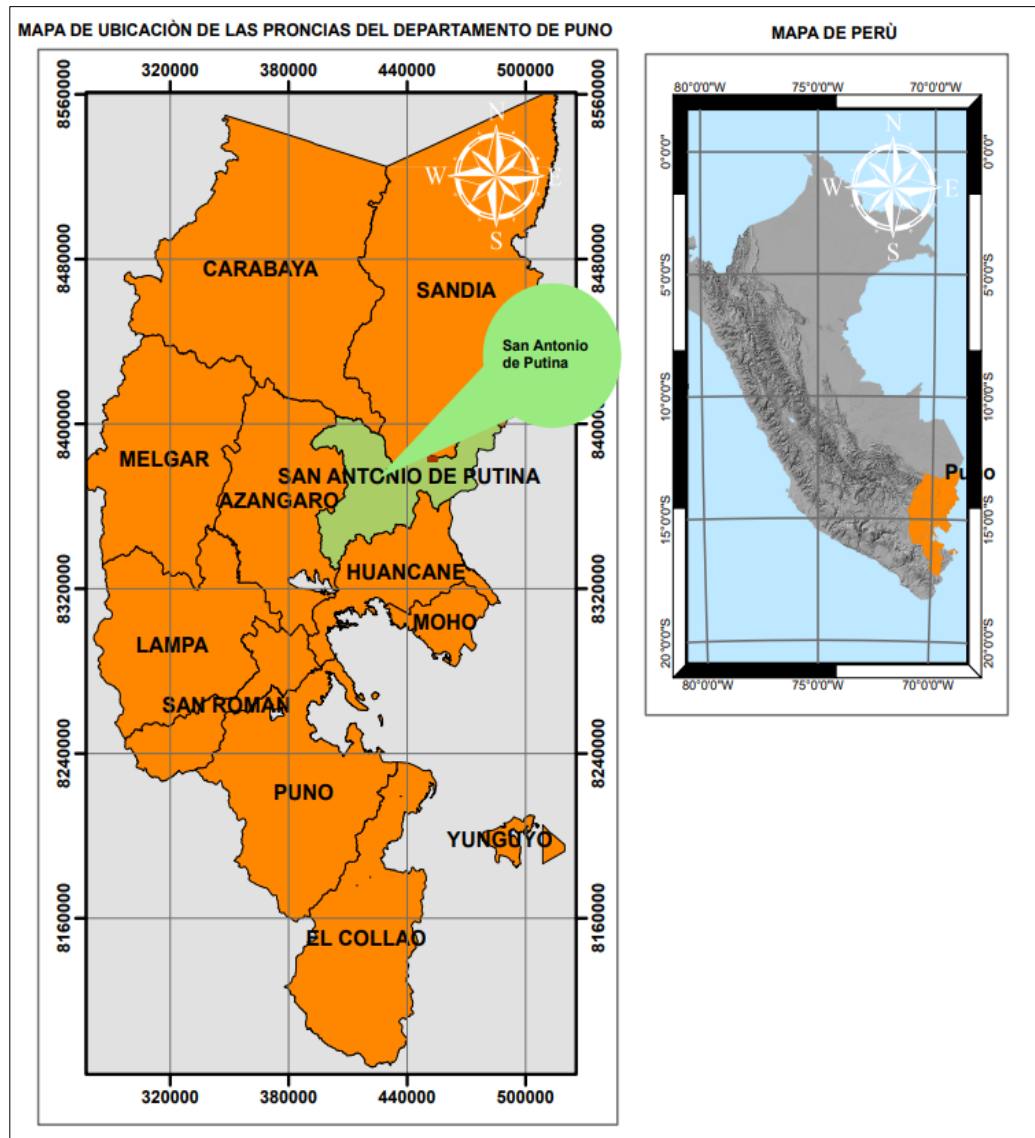


Figura 10. Ubicación geográfica.

Fuente: Área de Proyectos CMASA.

3.1.3. Acceso

Las vías de acceso terrestre, estado de la vía, tiempo y distancia del proyecto se detalla a continuación en el siguiente cuadro.

Tabla 2.*Vías de acceso*

Tramo	Tipo de vía	Estado de vía	Medio de transporte	Distancia (km)	Tiempo
Puno- Juliaca	Asfaltada	Buena	Bus, Minivan, auto	40 km	1 hora
Juliaca - Putina	Asfaltada	Buena	Bus, Minivan, auto	89 km	1 hora 30 minutos
Putina - Ananea	Asfaltada	Buena	Minivan, auto	62 km	1 hora 30 minutos
Ananea - Rinconada	Asfaltada - Trocha	Regular	Minivan, auto	20 km	30 minutos
Rinconada- CMASA	Trocha	Mala	camioneta	5 km	15 minutos

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Clima y temperatura

La zona se caracteriza por tener un clima muy frío y seco típico del altiplano, con tres temporadas definidas durante el año: temporadas de noches heladas y días soleados desde los meses de mayo a julio, temporada desde los meses vientos de agosto a octubre y temporadas de nevadas y lluvia desde los meses noviembre a abril. la temperatura media anual es de 8° C, registrando máximas de 20° C y mínimas de -27° C.

Tabla 3.*Temperatura de la zona*

Temperatura	Temporadas de heladas	Temporadas de viento	Temporada de nevadas
Mes	Mayo - Julio	Agosto - Octubre	Noviembre - Abril
Promedio	7°C	8°C	10°C
Máxima	20°C	18°C	17°C
Mínima	-27°C	-16°C	-12°C

Fuente: Estación meteorológica de Ananea.



3.1.5. Flora y fauna

La zona se caracteriza por tener flora escasa, donde en su mayor parte crece el icho, no existe cultivos por la zona ya que la tierra es infértil para la agricultura. La fauna de la zona también es escasa como las gaviotas, ratones, y gorrión andino. En la zona de desarrollo de la presente investigación no presenta flora ni fauna.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Tipo de la investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo y experimental; implementándose en la planta de beneficio Corporación Minera Ananea S.A., un repulpeador de base cónica y un molino de bolas con chaquetas para el tratamiento de relaves procedentes de amalgamación generados diariamente en las descargas de concentrado de Jig Dúplex y Trapiche.

3.2.2. Diseño de la investigación

Se utilizó el diseño de investigación experimental con un enfoque cuantitativo. Con la instalación de un repulpeador cónico y un molino de bolas con chaquetas para la recuperación de mercurio y oro a partir del tratamiento de los relaves de amalgamación procedentes de las descargas de Jig Dúplex y Trapiche de la Planta Concentradora CMASA.

3.2.3. Población

La población está referido al total de los elementos de influencia que se considerarán para la investigación (Balestrini, 2006).



La población de estudio está constituida por relaves auríferos procedentes de amalgamación generados diariamente en las descargas de Jig Dúplex y trapiche de la planta de beneficio Corporación Minera Ananea S.A.

3.2.4. Muestra

La muestra está referida a una parte de la población, o sea un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, cada uno de los cuales es un elemento del universo (Balestrini, 2006).

Dada la característica de la población que es pequeña y finita, se tomaron como muestra de estudio e indagación a todos los individuos que integran la población, en este caso fue conformada por los relaves diarios procedentes de amalgamación de las descargas de concentrados de Jig Dúplex y trapiche de la Planta de beneficio Corporación Minera Ananea S.A.

3.3. MATERIALES

Para la implementación y recolección de datos del presente proyecto de investigación se ha requerido principalmente una serie de equipos, instrumentos e insumos que permitió realizar la investigación.

3.3.1. Equipos e instrumentos

- Tolva de alimentación
- Repulpeador cónico.
- Sistema de agitación del repulpeador (motor, reductor de velocidad, polea, eje correa de transmisión).
- Molino de bolas.



- Forro tipo onda simple de acero para molino.
- Pernos de 5/8 x 2" para molino de bolas
- Bolas de acero de 3" 2 ½ " , 2", 1 ½ " , 1".
- Sistema de movimiento del molino (motor, eje, piñón, polea, correa de transmisión).
- Balanza Marcy.
- Retorta.

3.3.2. Insumos

- Relave de Amalgamación.
- Cal.
- Agua.

3.3.3. Análisis

- Análisis químico de ley de oro en relave.
- Balance metalúrgico.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Variable dependiente

Evaluar el porcentaje de recuperación con la implementación de los equipos.

- % de recuperación del mercurio



- % de recuperación del oro

3.4.2. Variable independiente

Implementación del repulpeador cónico y molino de bolas.

Tabla 4.

Variables

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	ESCALA
% de recuperación de Hg y Au	Implementación de equipos	Relave

3.5. TECNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Para la ejecución de la presente investigación primero se dio a conocer el plan del proyecto a implementar a la superintendencia general de Corporación Minera Ananea S.A. , el cual fue aprobado para proseguir con la recolección de datos de perdida de mercurio y oro que se generan mensualmente , costos de perdida generada y evaluación de costos de instalación de los equipos a implementar , seguidamente se realizó la toma de decisiones y asignación de presupuesto para finalmente realizar la instalación de equipos y evaluación de la recuperación de mercurio y oro que genero dicho proyecto.

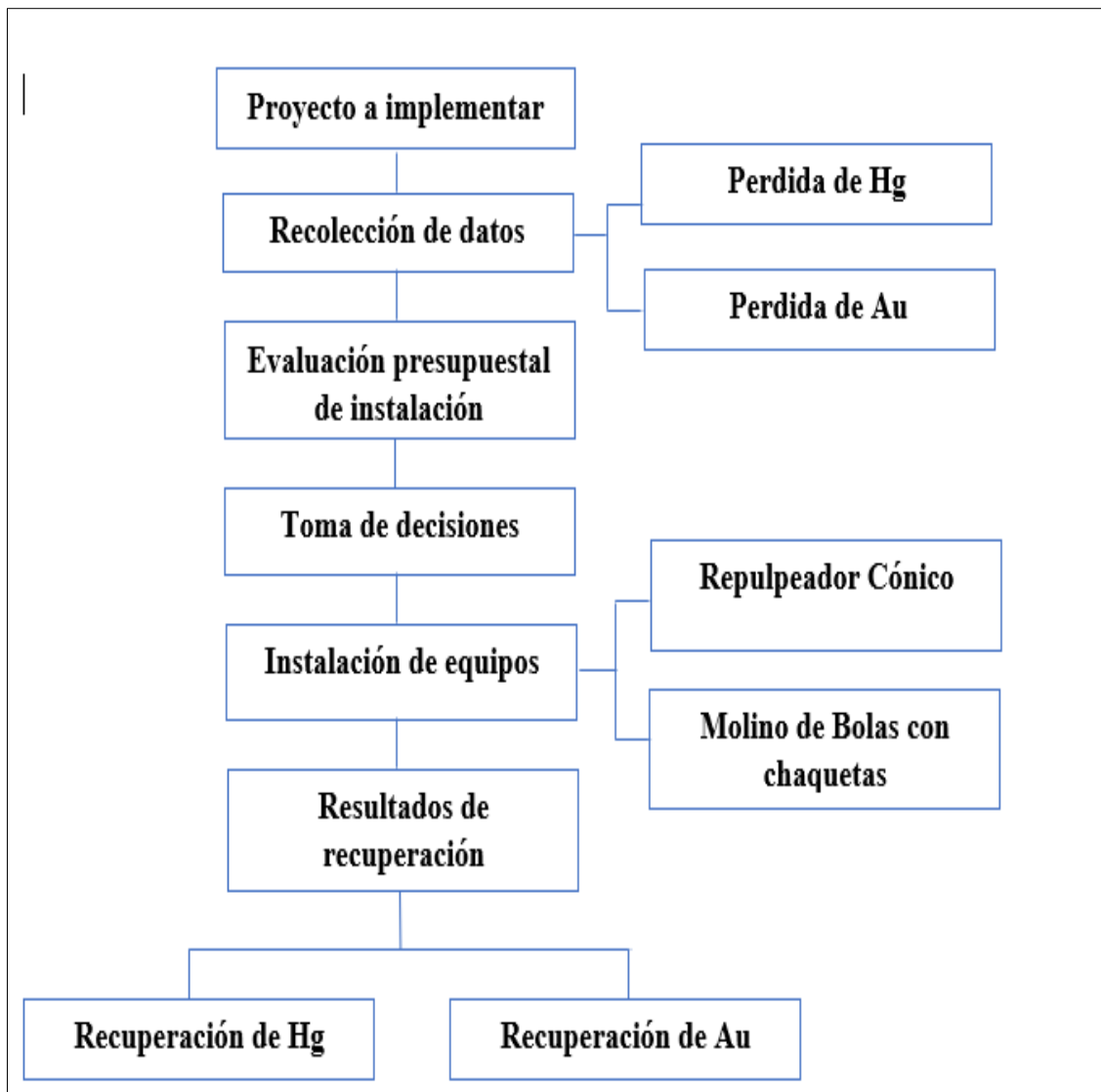


Figura 11. Plan de trabajo para el proyecto de investigación

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS EN LA EVALUACIÓN DE PÉRDIDA DE MERCURIO Y ORO EN LOS RELAVES

3.6.1. Recolección de datos de la pérdida de mercurio

Se realizó la recolección de datos de pérdida de mercurio a través de los informes del área de producción -Planta de los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2021. En donde se pesó diariamente para las descargas de concentrado una cantidad exacta de mercurio (Hg – inicial) para que después del proceso de amalgamación y descarga se vuelva a pesar el mercurio (Hg - final) en



una balanza METTLER TOLEDO para obtener la pérdida de mercurio en cada proceso como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Hg(\text{pérdida}) = Hg(i) - Hg(f)$$

Los materiales que se utilizaron para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Mercurio
- Balanza METTLER TOLEDO
- Molinos amalgamadores
- Relave
- Cuaderno de apuntes
- Excel para insertar datos de pérdida mercurio

3.6.2. Recolección de datos de la pérdida de oro

Se inició con la recolección de datos de pérdida de oro tomando en cuenta aspectos como peso de cada saco de relave, malla -200 de relave y % de humedad. Se empezó con la toma de muestra de cada saco de relave con un plumero para obtener una muestra referencial, una vez concluido el mes se empezó a homogenizar todas las muestras de relave para conseguir una muestra referencial final y luego ser enviada a las instalaciones del laboratorio químico para su análisis y así obtener una ley de Au en g/Tn. de cada muestra que se envió.

Una vez recolectado los datos de ley de Au y tonelaje de relave de los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2021 se procedió a insertar los datos

a Excel para obtener los balances metalúrgicos. Otro factor que influyó mucho en el análisis de ley fue la caracterización de mineral fresco que se procesó en planta ya que las leyes de cabeza de cada campaña no son iguales.

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Relave
- Cuaderno de apuntes
- Balanza electrónica
- Plumero
- Proceso de análisis químico
- Excel para insertar datos

Tabla 5.

Análisis químico de oro

Muestra	Código de laboratorio	de	Detalle	Ley Au g/Tn	Fecha de Muestra
01	PLT-21-14333		RELAVE 01	26.320	30/10/2021
02	PLT-21-14357		RELAVE 02	24.946	30/11/2021
03	PLT-21-14265		RELAVE 03	27.452	30/12/2021

Fuente: reporte de laboratorio químico CMASA.

En la tabla 5 se observa las leyes analizadas del relave por el área de laboratorio químico, en donde se tienen tres datos relevantes para la investigación que fueron la ley de Au en g/Tn del relave de concentrado, tal como como se observa en el anexo 6 donde se presentan los reportes de laboratorio químico detallado.

Tabla 6.

Tonelaje de relave de amalgamación generado

Detalle	Tonelaje de relave (Tn)
Octubre 2021	29.948
Noviembre 2021	29.532
Diciembre 2021	31.247
Total	90.727

Fuente: Reporte diario Planta CMASA

En la tabla 6 se observa, el tonelaje general que se realizó por el pesado de cada saco de relave con una balanza de 200 kg en donde se recolectaron los datos diariamente y se registraron en un formato para definir las toneladas métricas húmedas (TMH) que se generaron los tres meses de prueba. Dando como resultado 90.727 toneladas de relave.

3.7. IMPLEMENTACION DEL REPULPEADOR CONICO Y MOLINO DE BOLAS CON CHAQUETAS

Primeramente, se realizó la fabricación, acondicionamiento y requerimientos de equipos adicionales que faltaban para la implementación del repulpeador cónico y molino de bolas los cuales en su mayoría fueron reciclados y acondicionados en la misma empresa por el personal de mantenimiento de planta por ser equipos a prueba.

Seguidamente se realizó la habilitación, preparación y vaceado de cemento para el área donde fueron instalados los equipos ya que se buscaba un lugar que no esté alejado del área de planta para la supervisión correspondiente de los equipos. Finalmente se realizó el montaje, armado e instalación de los equipos a prueba. Las características de los equipos instalados fueron consideradas con el sistema internacional de medición donde se consideró la medida de los equipos por la longitud (m), masa (Kg) y Tiempo



(s).

3.7.1. Tolva de alimentación

Se fabricó con estructura metálica cilíndrica reciclada de fierro dulce, donde se acondiciono un chute para la salida del relave con las siguientes medidas, 0.78 m ancho x 1.15 m de altura, con capacidad de almacenaje de 1.482 toneladas métricas. Es aquí donde se deposita el relave generado de las descargas diarias de Jig y trapiche.

Volumen total de la tolva

$$V = \pi r^2 . h$$

$$V = \pi 39^2 . 117$$

$$V = 0,559068 \text{ cm}^3$$

Volumen Útil de la tolva

$$Vu = \frac{V . 90\%}{100}$$

$$Vu = 0,50316m^3$$

Capacidad de la tolva

$$C = Vu . 2,62$$

$$C = 0,50316m^3 . 2,62$$

$$C = 1.310 \text{ TMH}$$

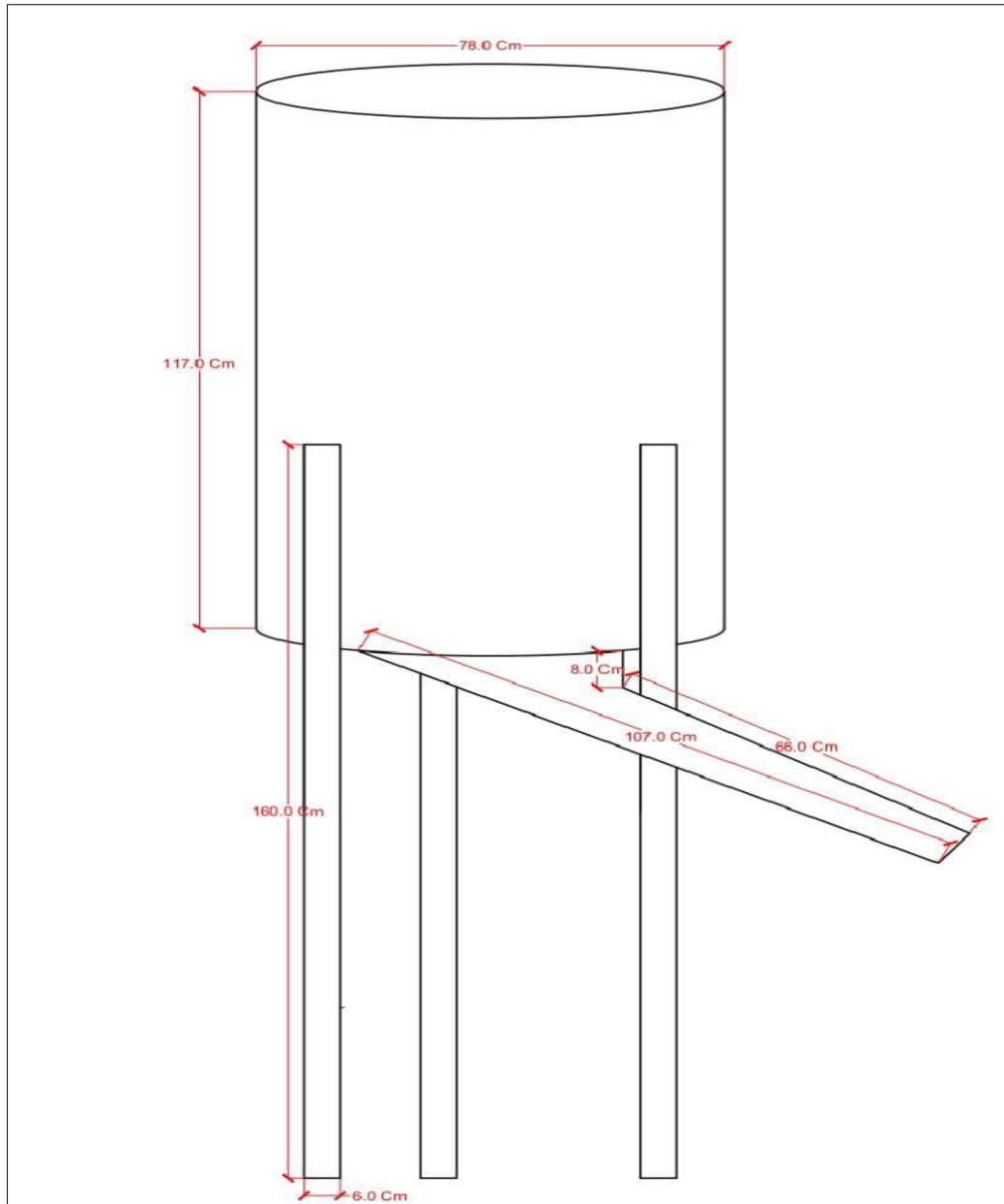


Figura 12. Tolva de almacén de relave

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Repulpeador

Se fabricó de estructura metálica de fierro dulce la parte del cilindro y el cono fue fabricado de acero inoxidable y se implementó un sistema de agitación los cuales fueron los siguientes:

- Cilindro. 0.76m x 0.66m



- Cono. 0.75m x 0.36m x 0.10m
- Angulo de cono 55°
- Motor eléctrico de 7.5 HP
- Motor reductor de 10 HP
- Faja de transmisión o correa A-112
- Eje de 2" pulgadas con su respectiva hélice (hechizo)
- En cuanto la revoluciones por minuto (rpm) en repulpeador es 26rpm

Volumen total del repulpeador

$$V = \pi r^2 \cdot h$$

$$V1 = \pi(0.385)^2 \cdot 0,66m = 0,307m^3$$

$$V2 = \frac{\pi(0.385)^2 \cdot 0,39m}{3} = 0,102m^3$$

$$V3 = \pi(0.385)^2 \cdot 0,165 = 0,077m^3$$

Volumen útil del repulpeador

$$Vu = V1 + V2 + V3$$

$$Vu = 0,307m^3 + 0,102m^3 + 0,077m^3 = 0,332m^3$$

$$\frac{1250g}{l} \cdot \frac{1Tn}{1000g} \cdot \frac{1l}{0,001m^3} = 1,25Tn/m^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\frac{1,25Tn}{m^3} = \frac{m}{0,332m^3}$$

$$m = 1,25Tn/m^3 \cdot 0,332 m^3$$

$$m = 0,415Tn$$

Determinación % malla -200

$$\%malla - 200 = \left(\frac{\rho_{inicial} - \rho_{final}}{\rho_{inicial} - 1000} \right) \cdot 100$$

$$\%malla - 200 = \left(\frac{1300 - 1140}{1300 - 1000} \right) \cdot 100$$

$$\% malla - 200 = 53.30\%$$

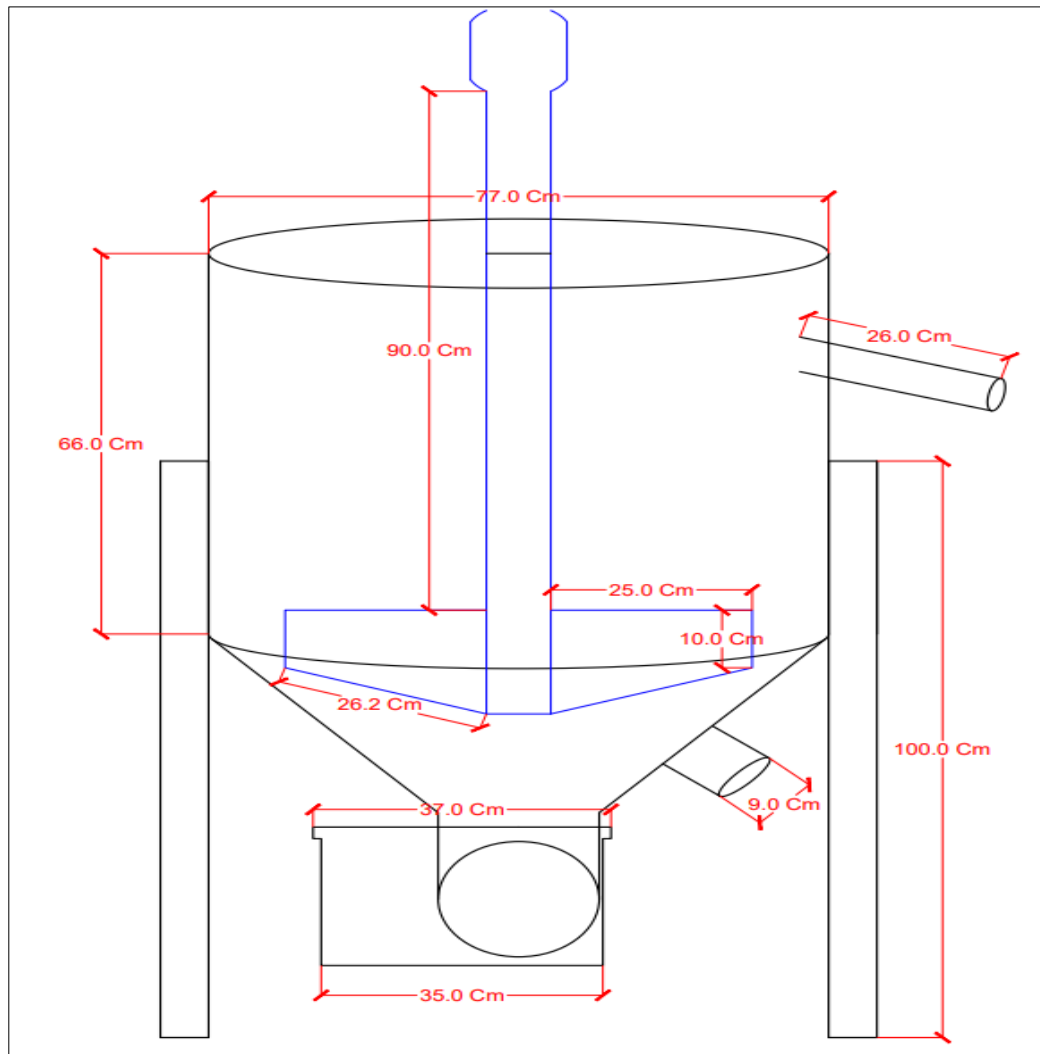


Figura 13. Repulpeador cónico implementado



3.7.3. Molino de Bolas 2 x 3' con chaquetas

La estructura metálica se reciclo de un molino que ya no se encontraba en funcionamiento donde se acondiciono el sistema de operación del molino los cuales son los siguientes:

- Molino de bolas 2 x 3'
- Motor weg de 12.5 HP
- Faja de transmisión o correa B-84
- 08 chaquetas del lateral (4 en cada lado)
- 12 chaquetas en el tambor o cilindro
- 68 pernos de acero de 5x3/8
- Bolas aceradas 3" 2 1/2", 2", 1 1/2", 1"
- En cuanto la revoluciones por minuto (rpm) en molino 2x3 = 38rpm

Volumen total del molino

$$Vt = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$$

$$Vt = \frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \cdot 3$$

$$Vt = 9.425 \text{ pies}^3$$

$$Vt = 9.425 \text{ pies}^3 \cdot \frac{0.3048 \text{ m}^3}{1 \text{ pie}^3}$$

$$Vt = 0.267 \text{ m}^3$$



Volumen Interno Útil del molino

$$Vu = \frac{Vt. 50\%}{100\%}$$

$$Vu = 0.134m^3$$

Determinación malla -200%

$$\%malla - 200 = \left(\frac{\rho_{inicial} - \rho_{final}}{\rho_{inicial} - 1000} \right) \cdot 100$$

$$\%malla - 200 = \left(\frac{1160 - 1030}{1160 - 1000} \right) \cdot 100$$

$$\%malla - 200 = 81.25\%$$

Calculo de Word Índice

$$Wi Op = \frac{P}{10 \left[\frac{1}{\sqrt{p80}} - \frac{1}{\sqrt{f80}} \right] \cdot m}$$

$$Wi Op = \frac{1140 kW}{10 \left[\frac{1}{\sqrt{102}} - \frac{1}{\sqrt{318}} \right] \cdot 193 Kg/h}$$

$$WiOp = \frac{13.756 kW/h}{TN}$$

Cálculo de balance de bolas

Volumen de molino = 9.425 pies

Porcentaje de carga de bolas = 38%

Volumen neto que ocupan las bolas = 62.852 Litros



Densidad de la bola = 7.7Kg/Litros

Porosidad de bolas = 0.35

$$mb = \varphi b \left[\frac{\pi}{4} D^2 \cdot L \frac{\%C}{100} \cdot (1 - \varepsilon) \right]$$

$$mb = 7.7 \times 62.852$$

$$mb = 483.96kg$$

Tamaño intermedio de bolas

$$xi = (D_i * D_{i+1})^{0.5}$$

$$xi = (3 * 2.5)^{0.5}$$

$$xi = 2.74$$

% de distribución de la bola

$$\%D = \left(\frac{x^4 - xf^4}{x0^4 - xf^4} \right) * 100$$

$$\%D = \left(\frac{2.74^4 - 1^4}{3^4 - 1^4} \right) * 100$$

$$\%D = 69.06$$

% masa para llenado de bolas

$$\%R = (100 - \%Di)$$

$$\%R = (100 - 69.06)$$

$$\%R = 30.94$$

Cálculo para agregar bolas

$$Cb = \frac{(\%R * mb)}{100}$$

$$Cb = \frac{(30.94 * 483.96)}{100}$$

$$Cb = 149.73 \text{ Kg}$$

Tabla 7.

Cuadro de balance de bolas del molino

Diámetro de bolas	Cantidad	Peso (Kg)	Tamaño intermedio	% Distribución	% Retenido	Total (Kg)
1	101	0.075	1.00	0.00	1.56	7.56
1.5	144	0.283	1.22	1.56	8.44	40.83
2	167	0.580	1.73	10.00	20.00	96.79
2.5	170	1.109	2.24	30.00	39.06	189.05
3	74	2.031	2.74	69.06	30.94	149.73
Total	656				100.00	483.96

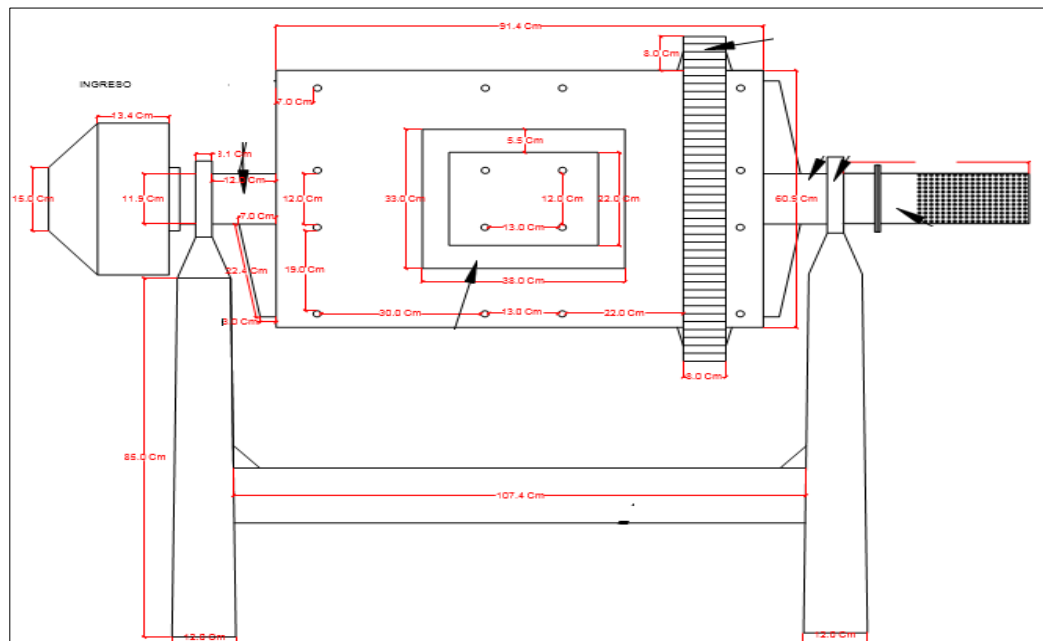


Figura 14. Molino de bolas implementado

3.7.4. Bomba de lodos

Se agregó una bomba de lodos, a la salida de la descarga de la pulpa que sale del molino de bolas donde se acondiciona para transportar o bombear la pulpa de relave hacia tanques de lixiviación. El cual tiene las siguientes características:

- Bomba de lodos horizontal sello húmedo marca ICBA de 1 ½" x 1 ¼"
- Motor de 7.5 HP.
- Faja de correa A-66

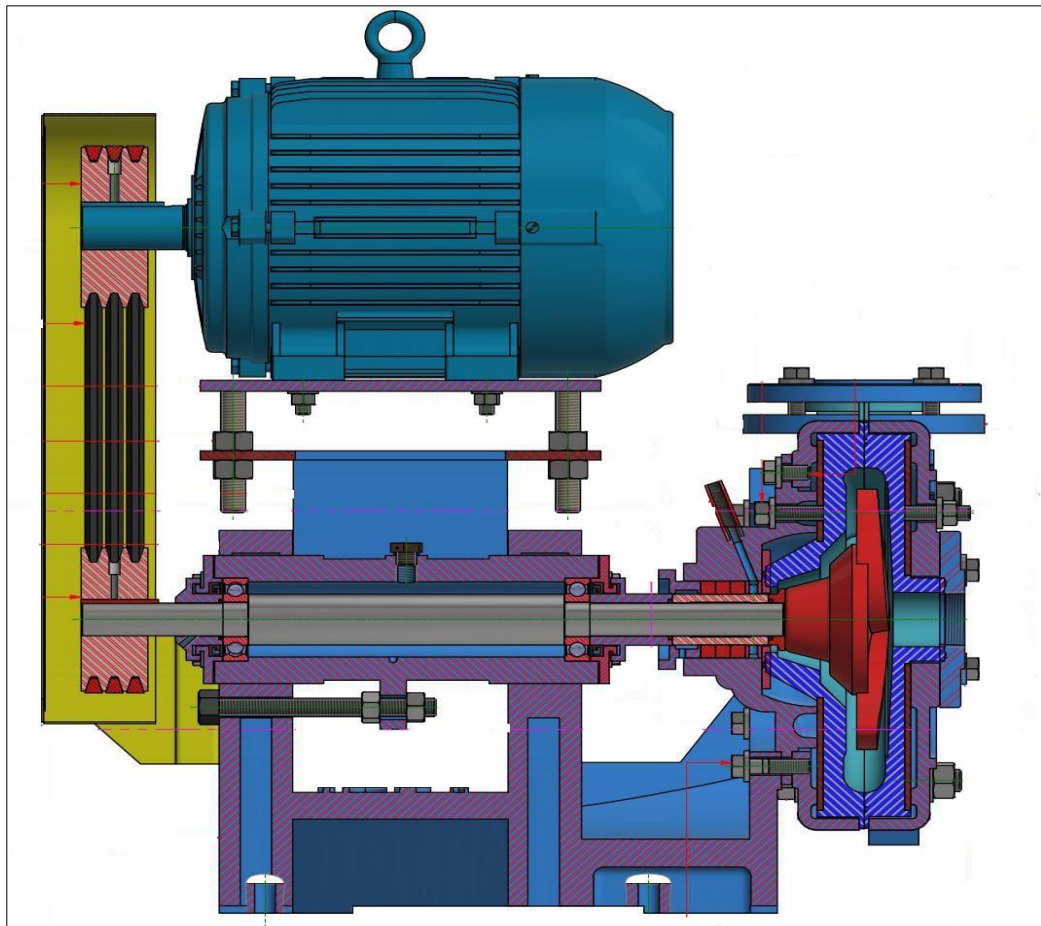


Figura 15. Bomba de lodos horizontal

Fuente: Ficha técnica ICBA

3.7.5. Descripción del proceso

3.7.5.1. Transporte del relave de concentrado

El relave proveniente de los molinos amalgamadores de las descargas de Jig Dúplex y trapiche son transportados en carretillas de 2 sacos a 3 sacos con el personal de área de cianuración. La distancia entre los molinos amalgamadores al área de remolienda es de 68 metros aproximadamente. Las granulometrías de los dichos relaves son de 40 a 55% analizados por la malla -200. Cada saco de relave tiene un peso aproximado de 33 kg (esto puede variar por la humedad del relave), el cual es almacenado en una plataforma de concreto para luego ser echado de manera progresiva a la tolva de alimentación.



Figura 16. Traslado de relave

3.7.5.2. Muestreo de relave

Los sacos que fueron almacenados en la plataforma fueron ubicados de manera ordenada, posteriormente se realizó el muestreo de

cada saco con un plumero para luego ser almacenado en un saco nuevo y guardado en el área de almacén, este procedimiento se realizó todos los días que los equipos se encuentran operativos. Cada 15 días las muestras que se tomaron fueron homogenizadas para realizar un cuarteo general y así sacar una muestra referencial la cual fue enviada a laboratorio para su análisis de ley de Au g/Tn.



Figura 17. Muestreo de Relave

3.7.5.3. Repulpeador

La alimentación del relave hacia el repulpeador se realizó a través de la tolva de alimentación donde al ingresar el agua conjuntamente se le agregó hidróxido de calcio. En esta primera etapa se realizó la concentración del mercurio y oro que no fueron recuperados. El ingreso de relave al repulpeador fue de 3.15 Kilogramos por cada tres minutos, con un caudal de agua de 500 ml/min. que ingresó para obtener una densidad de pulpa de rebose del repulpeador de 1300 g/L. y con una malla -200 del 50%. Posteriormente se le agregó cal lechada para mantener un Ph neutro 7. El equipo trabajó con una potencia de 26 rpm el cual cumplió la función de que el relave al estar en forma de pulpa, permite que el mercurio

presente siga amalgamándose con partículas de oro y con ello su peso específico tiende a ser más alto para así depositarse en la parte cónica del repulpeador.



Figura 18. Alimentación de Repulpeador Cónico

3.7.5.4. Molino de bolas

El rebose de la pulpa del repulpeador entra al molino de bolas de 2x3" con una malla -200 de 65%, en donde en esta etapa se cumplieron dos funciones: Primero, recuperar la amalgama de mercurio y oro que salió del rebose del repulpeador con las chaquetas del molino los cuales tienen aberturas mínimas, cuyo propósito es que el Au liberado empiece a concentrarse dentro de las chaquetas ya que la amalgama tiene densidad más elevada. Segundo: Bajar el porcentaje de malla del relave que ingresa con la molienda por las bolas aceradas que se encuentran dentro del molino para llegar a una malla -200 al 78 al 81% con el fin de liberar la mayor parte de Au fino que contiene el relave.



Figura 19. Molino de bolas 2x3”

3.7.5.5. Bomba de lodos

El rebose del molino de bolas 2x3” entra a una bomba de lodos de sello húmedo para transportar el relave de pulpa de forma abrasiva con una malla al 81% a los tanques de agitación del área de cianuración.



Figura 20. Bomba de lodos

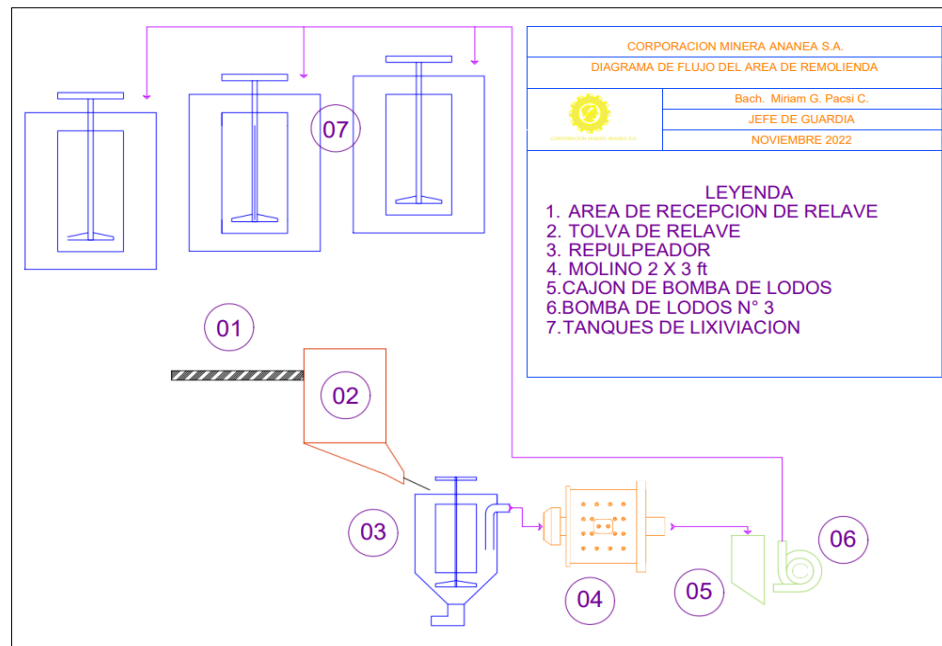


Figura 21. Diagrama de Flujo del circuito

3.7.6. Proceso descarga de los equipos implementados

Este proceso se realizó cada 15 días con un operador para el área de repulpeador y un operador para el área de molino de bolas, los cuales fueron supervisados por los jefes de área. con todos los EPPs necesarios.

3.7.6.1. Descarga

Para realizar la descarga, en principio se disminuyó la densidad del repulpeador para que contenga menos carga, seguidamente se abrió la válvula de 3” que se encuentra en la mitad del cono del repulpeador para retirar toda la pulpa concentrada y almacenarlo en un recipiente. Luego la pulpa que queda en la parte de abajo es retirada en otro recipiente abriendo la válvula de 4” que se encuentra en la parte baja del cono. Posteriormente se realizó la descarga del molino de bolas 2x3” abriendo la tapa del molino y descargando las bolas de acero y pulpa a las bandejas depositadas en la parte inferior, para luego proseguir a sacar las chaquetas del tambor y

chaquetas laterales y realizar la limpieza del interior del molino, juntando todo el concentrado en otro recipiente. Finalmente se procedió a trasladar los recipientes de concentrado evacuado del repulpeador cónico y del molino de bolas al área de laboratorio químico.



Figura 22. Descarga de repulpeador cónico implementado



Figura 23. Desenchquetado del molino de bolas 2x3" implementado

3.7.6.2. Remolienda de concentrado

El concentrado de las descargas es ingresado a los molinos amalgamadores de laboratorio químico en donde se le adicionó agua 20% del molino, 500 g de hidróxido de calcio, 500 g de hidróxido de sodio y 100 g de detergente para realizar una molienda de 2 horas. Después se le adicionó 1 kilogramo de Hg. Y se le dio un tiempo de amalgamación de 15 minutos. Posteriormente se prosiguió con la descarga del molino amalgamador a cargo de un operador manualmente en donde la pulpa caerá sobre una bandeja tipo cernidor, con el objetivo de que no pasen las bolas del molino para luego ser depositada en un recipiente larga, pero si pase la pulpa molida. Luego se hizo la limpieza total del molino, para ello se sacó la bandeja con el contenido de pulpa y mercurio, en donde se agitó manualmente, separando el relave de la amalgama vaciándolo en un recipiente para proceder al bateo y finalmente separar el mercurio con oro.



Figura 24. Descarga de remolienda de concentrado

3.7.6.3. Exprimido

La amalgama se separó del mercurio líquido utilizando un filtro a través de la operación llamado exprimido; en la cual se colocó el trapo compresor sobre la batea para vertir el mercurio con el oro y luego exprimir para separar la amalgama del mercurio. Finalmente se procedió a pesar la amalgama y mercurio final obtenidos en el proceso.



Figura 25. Exprimido de amalgama.

3.7.6.4. Refogado

La amalgama obtenida se envolvió en un papel y se mojó con agua para después ser ingresado a la retorta en donde es quemado con fuego a gas durante 1 hora, luego se procedió a sacar el producto ya quemado y dejarlo enfriar.



Figura 26. Retorta

3.7.6.5. Pesado

Aquí se determinó el peso del oro obtenido en la etapa del refogado en una balanza METTLER TOLEDO.

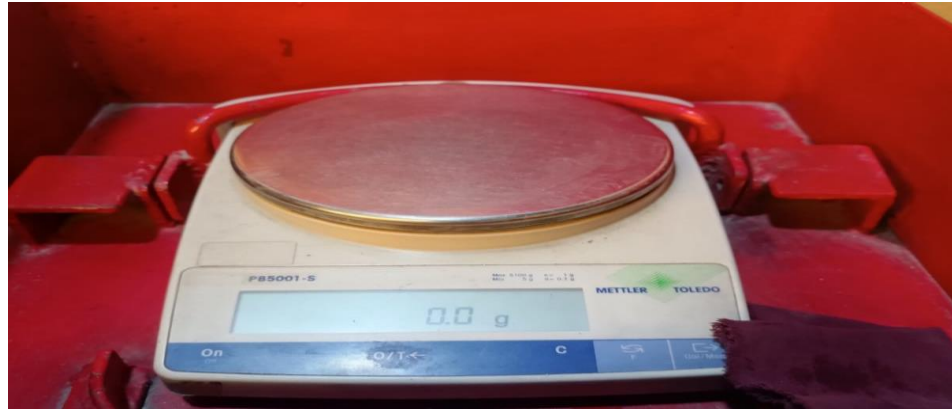


Figura 27. Balanza METTLER TOLEDO

3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS EN LA EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DEL MERCURIO Y ORO

La recolección de datos se dio durante los meses de febrero marzo y abril del 2022 (cada uno corresponde a dos campañas que se realizan en cada mes) tomando datos de reportes diarios, costos mensuales, consumo de reactivos y con esto evaluar el proceso de los equipos mediante pruebas experimentales que permitieron recuperar el mercurio y oro perdido.

3.8.1. Caracterización de relave

Se realizó un muestreo y pesaje de relave los meses de febrero, marzo y abril del 2022 durante 30 días de cada mes en donde se obtuvo una muestra significativa de 80 kg/mes. Los resultados de caracterización de ley de Au y tonelaje de relave se muestran en la tabla 8 y tabla 9:



Tabla 8.

Tonelaje Tratado

Detalle	Tonelaje de relave (Tn)
Febrero 2022	35.698
Marzo 2022	33.264
Abril 2022	35.575
Total	104.537

Tabla 9.

Ley de relave

Muestra	Código laboratorio.	Detalle	Ley g/Tn	Fecha de Muestra
Febrero	PLT-22-247	Relave 01	32.160	28/02/2022
Marzo	PLT-22-248	Relave 02	33.542	30/03/2022
Abril	PLT-22-249	Relave 03	32.587	30/04/2022

Se observa en la tabla 9 el resumen de las leyes de Au que se mandaron para su análisis a laboratorio químico. Se observa en el Anexo 6 cuadro general de leyes.

3.8.2. Pruebas de gravimetría

Con esta prueba se inició el proceso de recuperación a través del repulpeador cónico en donde se trató de concentrar las partículas gruesas que contienen mercurio y oro, donde el relave se procesó por 15 días con una densidad de 1250g/l a 1300 g/l.



3.8.3. Pruebas de molienda

Esta prueba permitió obtener una remolienda adecuada para el presente estudio, es por eso que la granulométrica requerida para este proceso fue de 81 a 83% malla -200.

3.8.4. Procesamiento de la información

Se aplicaron instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente.

- Revisión de datos recopilados
- Cuadros estadísticos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DE PÉRDIDA DE MERCURIO Y ORO EN RELAVES DE CONCENTRADO

4.1.1. Evaluación de pérdida de mercurio

En la tabla 10 se observa la pérdida de mercurio en los meses de octubre, noviembre y diciembre 2021.

Tabla 10.

Pérdida de mercurio

Campaña	Pérdida de Hg en descargas de jig (g)	Pérdida de Hg en descargas de trapiche (g)	Total de Pérdida (g)	Total (g)	Promedio mensual pérdida (g)
I octubre	2 407.90	775.50	3 183.40	6 869.40	
II octubre	2 559.90	1 126.10	3 686.00		
I Noviembre	1 999.40	946.20	2 945.60	5 591.50	
II Noviembre	1 858.80	787.10	2 645.90		6 303.20
I Diciembre	2 051.30	803.60	2 854.90	6 448.70	
II Diciembre	2 602.80	991.00	3 593.80		
Total				18 909.60	

Fuente: Informe departamento de producción planta.

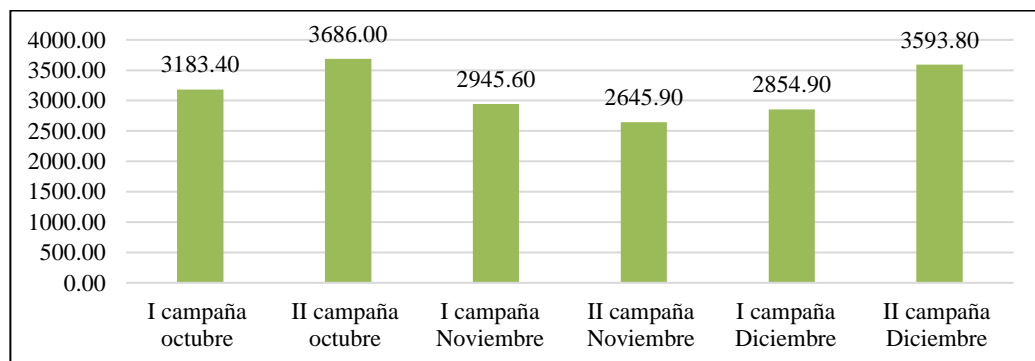


Figura 28. Análisis de pérdidas por campaña octubre – diciembre 2021

En la figura 28 se observa que la pérdida menor de mercurio se dio en la II campaña noviembre con 2645.90g y la pérdida mayor se dio en la II campaña octubre con 3686.00g Teniendo en los 3 meses que se realizó la recolección de datos una pérdida de 18909.60g, con un promedio mensual de 6303.20g por mes.

4.1.2 Costo de mercurio

La empresa SURFWORLD E.I.R.L. que abastece el mercurio para las operaciones diarias se tiene un costo de 1200 soles el kilogramo de mercurio (Hg). se determinó el costo de pérdida de mercurio en soles, donde se sacaron los datos de costo por kilogramos del área de almacén Planta CMASA.

Tabla 11.

Costo de pérdida de mercurio en soles

Campaña	Pérdida Hg (g)	Pérdida de mercurio S/.	Promedio mensual
I Octubre	6 869.40	8,243.28	
II Octubre			
I Noviembre	5 591.50	6,709.80	
II Noviembre			7,563.84
I Diciembre	6 448. 70	7,738.44	
II Diciembre			
Total	18 909 .60	22,691.52	

En la tabla 11 se observa la sumatoria de la tabla 10 con los datos de costo de mercurio de almacén planta CMASA para indicar que la pérdida generada de Hg en tres meses de proceso es un total de S/. 22,691.52 Nuevos soles, haciendo un promedio mensual de S/7,563.84Nuevos soles de pérdida.

4.1.3. Pérdida de oro en relave

Teniendo los datos recolectados de tonelaje y ley de Au de relave generados en las descargas de concentrado se realizó un balance metalúrgico para determinar el contenido metálico aurífero.

Tabla 12.

Pérdida de Au

Descripción	Peso (Tn)	% Peso	Leyes Au (g/Tn)	Contenido Metálico Au (g/Tn)	% Distribución Au (g/Tn)	Promedio mensual g de Au
Octubre	29.948	100	26.320	788.24	100	
Noviembre	29.532	100	24.946	736.71	100	
Diciembre	31.247	100	27.452	857.81	100	794.25
Total	90.727			2382.76		

En la tabla 12 se observa que la pérdida total de Au en los relaves de amalgamación es un total de 2382.76 g, con un promedio mensual de 794.25g por mes.

4.1.4. Costo de oro

Se realizó la cotización de Au de acuerdo al departamento de administración- CMASA.

Tabla 13.

Costo de Oro en Soles

Descripción	Contenido Metálico Au g/Tn	Costo del oro S/.	Total, S/.	Pérdida Promedio en S/.
Octubre	788.24	190.50	150,159.72	
Noviembre	736.71	195.00	143,658.45	151,266.58
Diciembre	857.81	186.50	159,981.57	
Total			453,799.74	

Fuente: Administración CMASA.



En la tabla 13 se observa que la pérdida generada de Au en tres meses de proceso es un total de S/. 453,799.74 Nuevos soles, haciendo un promedio mensual de S/151,266.68 Nuevos soles de pérdida.

Tabla 14.

Cuadro de perdida de mercurio y oro en g/Tn

Mes	Tonelaje de relave	Pérdida total de Au (g)	Pérdida total de Hg (g)	Pérdida de Au (g/Tn)	Pérdida de Hg(g/Tn)
Octubre	29.948	788.24	6869.40	26.320	229.38
Noviembre	29.532	736.71	5591.50	24.946	189.34
Diciembre	31.247	857.81	6448.70	27.453	206.38
Total promedio	90.727	2382.76	18909.60	26.263	208.42

En la tabla 14 se observa que la perdida generada promedio de Au es de 26.263 g/Tn de relave y la perdida promedio generada de Hg es de 208.42g/Tn de relave, estas pruebas se hicieron en tres meses de evaluación del relave a tratar.

4.2. EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

4.2.1. Costos de instalación

Tabla 15.

Costos de instalación de los equipos y accesorios

Descripción del equipo	Unidad	Cantidad.	Costo Unitario(S/.)	Costo Total (S/.)
Tolva de fierro	Unid	1	1,000.00	1,000.00
Repulpeador Cónico	Unid	1	3,000.00	3,000.00
Plancha de fierro dulce 6mm	Unid	1	1,500.00	1,500.00
Motor eléctrico de 7.5 HP	Unid	1	800.00	800.00
Motor reductor de 10 HP	Unid	1	1,000.00	1,000.00
Faja de transmisión A-112	Unid	2	70.00	140.00
Eje de 2"	Unid	1	300.00	300.00
Molino de bolas 2x3"	Unid	1	3,000.00	3,000.00
Motor Weg de 12.5 HP	Unid	1	800.00	800.00
Faja de transmisión B-84	Par	2	70.00	140.00
Chaquetas laterales	Unid	8	381.28	3,050.24
chaquetas para cilindro	Unid	12	366.70	4,400.40
pernos de acero de 2x 5/8	Unid	68	2.46	167.28
Bolas de acero de 2" 1/2, 2" 1	Kg	420	5.30	2,226.00
Bomba de lodos	Unid	1	1,500.00	1,500.00
soldadura supercito	Kg	20	17.20	344.00
Total				23,367.92

Fuente: Almacén CMASA.

En la tabla 15 se observa el detalle de los equipos, accesorios y herramientas que se necesitaron para la implementación y funcionamiento del repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas, el cual tuvo costo total de



S/. 23,367.92 nuevos soles que se necesitaron para su instalación y funcionamiento.

Tabla 16.

Balance mensual de equipos

Descripción del Equipo	Unidad	Cantidad.	Vida útil (Meses)	Costo Unitario (S/.)	Costo Mensual (S/.)
Tolva de fierro	Unid	1	60	1,000.00	16.67
Repulpeador Cónico	Unid	1	48	3,000.00	62.50
Plancha de fierro dulce 6mm	Unid	1	48	1,500.00	31.25
Motor eléctrico de 7.5 HP	Unid	1	48	800.00	16.67
Motor reductor de 10 HP	Unid	1	48	1,000.00	20.83
Faja de transmisión A-112	Unid	2	2	70.00	35.00
Eje de 2"	Unid	1	48	300.00	6.25
Molino de bolas 2x3"	Unid	1	60	3,000.00	50.00
Motor Weg de 12.5 HP	Unid	1	48	800.00	16.67
Faja de transmisión B-84	Par	2	2	70.00	35.00
Chaquetas laterales	Unid	8	6	381.28	63.55
chaquetas para cilindro	Unid	12	6	366.70	61.12
pernos de acero de 2x 5/8	Unid	68	1	2.46	2.46
Bolas de acero de 2" 1/2, 2" 1	Kg	420	1	5.30	5.30
Bomba de lodos	Unid	1	48	1,500.00	31.25
soldadura supercito	Kg	20	6	17.20	2.87
Total					457.37

En la tabla 16 se puede ver que se los equipos mencionados tienen una vida útil distinta, los cuales llegan a durar 1 mes a 60 meses. es por eso que se sacó el costo mensual de cada equipo o herramienta que se necesitó en donde obtuvo un costo mensual de S/. 457.37 Nuevos Soles para el funcionamiento de los equipos.

4.2.2. Fuerza laboral

Tabla 17.

Costos de Fuerza laboral

Cargo	Cantidad.	Salario estimado Mensual (S/).	Salario Total (S/).
Ingeniero/ Supervisor	1	3,000.	3,000
Operador	2	1,700	2,400
Mecánico	2	2,000	4,000
Total	5		9,400

En la tabla 17 se observa que los personales mínimos para la operación son de 5 trabajadores en un sistema de trabajo 20 x 10 los cuales generan un costo mensual de operación de S/. 9,400 Nuevos soles.

4.2.3. Costo de insumos

Tabla 18.

Costo de insumos utilizados

Descripción	Unid.	Cantidad	Costo Unitario(S/).	Costo Total (S/).
Hidróxido de Calcio	Kg	56	1.40	78.40
Total				78.40

Fuente: costos almacén CMASA

En la tabla 18 se observa el costo de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 requerido en 30 días de trabajo el cual genera un costo de operación mensual de S/.78.40 Nuevos Soles.

4.2.4. Costo de energía

Tabla 19.

Horas de operación de equipos

Equipos	Mes	Horas de operación / mes
Repulpeador Cónico	Marzo	268.63
Molino 2x3" de bolas	Marzo	268.63
Bomba de Lodos	Marzo	268.63
Total		805.89

Fuente: Informe mensual operación planta -marzo 2022.

En la tabla 19 se observa las horas operadas del mes de marzo de cada equipo implementado esto debido a que las horas operadas de cada mes fueron distintas y se tomó referencialmente el mes con más horas trabajadas.

Tabla 20.

Costo de energía

Equipos	Amperaje	kW- H	Hora Operada	kW/H Operadas	kWh= S/ 0.300
Repulpeador cónico	8.80	5.24	268.63	1408.46	563.38
Molino 2x3	36.00	21.45	268.63	5761.89	2304.75
Bomba de lodos	6.10	3.63	268.63	976.32	390.53
Total, consumo en S/.				8146.67	3258.67

Fuente: Informe mensual operación planta -marzo 2022

En la tabla 20 se observa el costo de las horas operadas del mes de marzo que se mostraron en la tabla 18 en donde se tiene un costo de operación mensual de S/. 3,258.67 Nuevos Soles.

4.2.5. Resumen neto de costos generados

Se describe los costos generados en la instalación, mantenimiento, fuerza laboral, insumos químicos y costos de energía por mes de operación, se realiza el resumen de costos generados en tres meses de proceso en la tabla 20.

Tabla 21.

Resumen de costo generados

Descripción	Costo Mensual (S/.)	Tres meses (S/.)
Costo de mantenimiento	457.37	1,372.11
Fuerza Laboral	9,400.00	28,200.00
Costo de insumos	78.40	235.20
Costo de energía	3,258.67	9,776.01
Total	13,194.44	39,583.32

Se observa en la tabla 21 que el costo de operación en los tres meses de funcionamiento fue de S/. 39,583.32 Nuevos soles, con un costo de operación mensual neto de operación es de S/. 13,194.44 Nuevos soles.

4.3. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE MERCURIO Y ORO

4.3.1. Pérdida de mercurio generada

Tabla 22.

Pérdida de mercurio

Campaña	Pérdida de Hg en descargas de Jig (g)	Pérdida de Hg en descargas de trapiche(g)	Total Pérdida /campaña(g)	Total (g)	Pérdida mensual promedio (g/mes)
I Febrero	2990.20	1015.80	4 006.00	8 051.80	
II Febrero	3080.50	965.30	4 045.80		
I Marzo	3264.70	1 034.00	4 298.70	9 161.60	
II Marzo	3503.80	1 359.10	4 862.90		8 958.53
I Abril	3919.50	1 052.20	4 971.70	9 662.20	
II Abril	3523.90	1 166.60	4 690.50		
Total				26 875.60	

En la tabla 22 se observa que la pérdida de Hg de las descargas de jig y trapiche que se obtuvo los tres meses fue de 26875.60g, con una pérdida promedio mensual de 8958.53g.

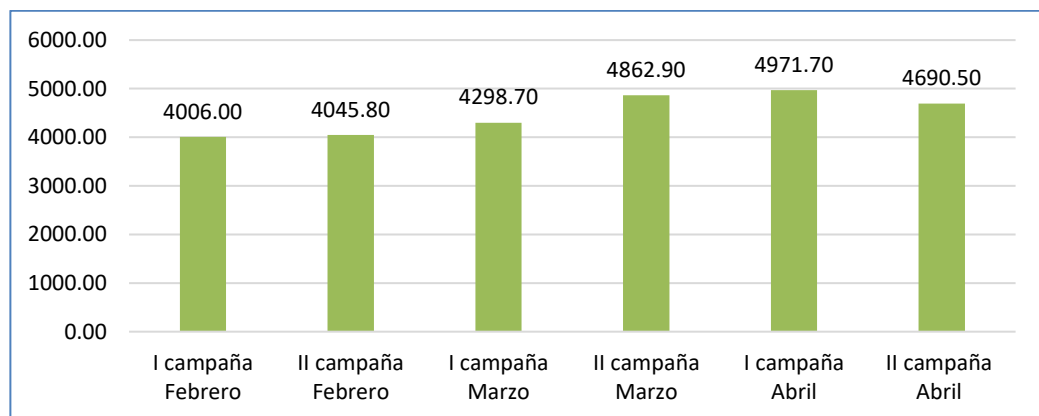


Figura 29. Análisis de pérdidas de mercurio por campaña Febrero – Abril 2022

En la figura 29 se observa que las pérdidas de Hg son distintas en cada campaña, donde se examina que la menor pérdida se registró la I campaña del mes de febrero con 4006.00g y la mayor pérdida se registró en la I campaña del mes



de abril con 4971.70g.

4.3.2. Recuperación de mercurio

Tabla 23.

Recuperación de mercurio con los equipos implementados

Mes	Detalle	Recuperación de Hg (g)	Total mes (g)	PROMEDIO g/mes
Febrero	I Campaña	3 225.50	5 908.50	6 466.76
	II Campaña	2 683.00		
Marzo	I Campaña	3 369.80	7 014.30	
	II Campaña	3 644.50		
Abril	I Campaña	3 445.70	6 477.50	
	II Campaña	3 031.80		
Total			19 400.30	

En la tabla 23 se observa que con la implementación del repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas se tiene una recuperación de 19 400.30g de mercurio en tres meses de proceso con un promedio mensual de recuperación de 6 466.76g de mercurio.



Tabla 24.

Cuadro de pérdida y recuperación de mercurio en g/Tn

Mes	Tonelaje de relave tratado	Pérdida total de Hg(g)	Pérdida de Hg(g/Tn)	Recuperación Total de Hg (g)	Recuperación de Hg (g/Tn)	Diferencia de recuperación (g)
Febrero	35.698	8051.8	225.55	5908.5	165.51	60.04
Marzo	33.264	9161.6	275.42	7014.3	210.87	64.55
Abril	35.575	9662.2	271.60	6477.5	182.08	89.52
Total Promedio	104.537	26875.6	257.09	19400.3	185.58	71.51

En la tabla 24 se observa que la pérdida promedio de Hg es de 257.09g/Tn de relave en tres meses de proceso, también se observa que después de la implementación del repulpeador cónico y molino de bolas la recuperación promedio de Hg es de 185.58 g/Tn. Lo cual reduce a una pérdida promedio final de Hg de 71.51 g/Tn de relave.

4.3.3. Recuperación de mercurio en porcentajes

Para determinar el porcentaje de recuperación es necesario determinar la pérdida total y recuperación en kilogramos lo cual por el modelo matemático de 3 simple se determina de la siguiente manera.

$$p\grave{e}rdida\ Hg\ \% = \frac{Recuperacion\ (Kg)}{P\grave{e}rdida\ (Kg)} * 100$$

Tabla 25.

Recuperación y pérdida de mercurio en porcentajes de febrero-Abril 2022

Campaña	Total, de pérdida	Recuperación (g)	% Recuperación	% de Pérdida
I Febrero	4 006.00	3 225.50	80.5%	19.5%
II Febrero	4 045.80	2 683.00	66.3%	33.7%
I Marzo	4 298.70	3 369.80	78.4%	21.6%
II Marzo	4 862.90	3 644.50	74.9%	25.1%
I Abril	4 971.70	3 445.70	69.3%	30.7%
II Abril	4 690.50	3 031.80	64.6%	35.4%

En la tabla 25 se muestra los cálculos de la pérdida de mercurio en porcentajes donde se observa que la máxima recuperación se dio la I campaña febrero con un 80.5% con un total de 3 225.50 g de Hg y la mínima recuperación se dio la II campaña de abril con un 64.6% con un total 3031.80g de Hg.

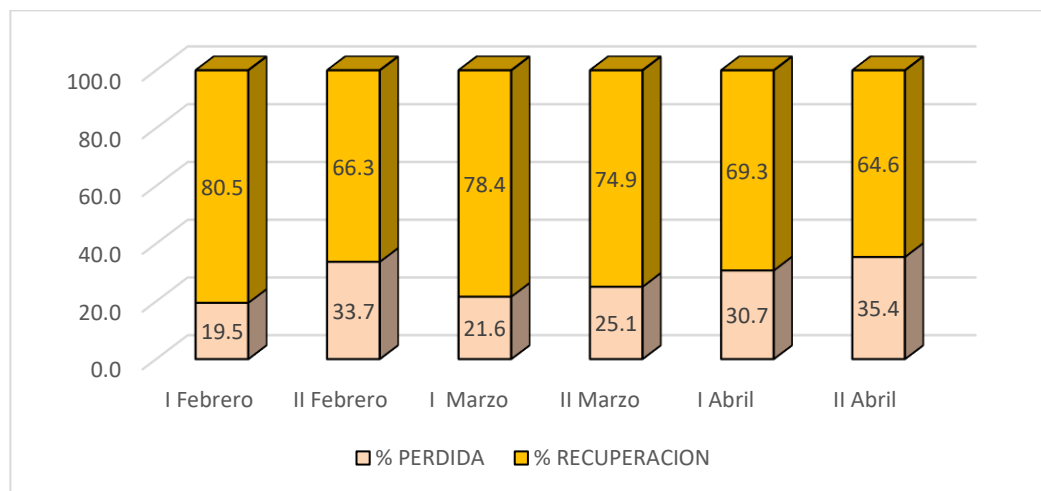


Figura 30. Gráfico de porcentaje de recuperación y pérdida de mercurio Febrero-Abril

En la figura 30 se observa que la pérdida mínima de mercurio se dio la I campaña del mes de febrero con un 19,5% y la pérdida máxima de mercurio se dio la II campaña del mes de abril con un 35,4%.

Tabla 26.*Cuadro comparativo de Perdida de mercurio en porcentaje de octubre -abril*

Campaña	Pérdida de jig (g)	Pérdida de trapiche (g)	Total, de Pérdida (g)	Recupera ción con equipos	Total, de Pérdida (g)	% Recupe ración	% Pérdida
I octubre	2 407.90	775.50	3 183.40	0.00	3 183.40	0	100
II octubre	2 559.90	1 126.10	3 686.00	0.00	3 686.00	0	100
I Noviembre	1 999.40	946.20	2 945.60	0.00	2 945.60	0	100
II Noviembre	1 858.80	787.10	2 645.90	0.00	2 645.90	0	100
I Diciembre	2 051.30	803.60	2 854.90	0.00	2 854.90	0	100
II Diciembre	2 602.80	991.00	3 593.80	0.00	3 593.80	0	100
I Febrero	2 990.20	1 015.80	4 006.00	3 225.50	780.50	80.5	19.5
II Febrero	3 080.50	965.30	4 045.80	2 683.00	1 362.80	66.3	33.7
I Marzo	3 264.70	1 034.00	4 298.70	3 369.80	928.90	78.4	21.6
II Marzo	3 503.80	1 359.10	4 862.90	3 644.50	1 218.40	74.9	25.1
I Abril	3 919.50	1 052.20	4 971.70	3 445.70	1 526.00	69.3	30.7
II Abril	3 523.90	1 166.60	4 690.50	3 031.80	1 658.70	64.6	35.4

En la tabla 26 se observa el cuadro comparativo de perdida de mercurio en relaves de concentrados de jig y trapiche antes y después de la implementación del repulpeador de base cónica y el molino de bolas los meses de (Octubre 2021- Abril 2022), donde se aprecia que las pérdidas de mercurio los meses de octubre, noviembre y diciembre eran significativamente altos sin poder ser recuperados alcanzando mínimos de 2645.90g de mercurio perdidos en I campaña (15 días) , después de la implementación de los equipos se observa que la perdida mínima que se generó los meses de Febrero , Marzo y Abril fue de 780.50g de mercurio en I campaña (15 días).

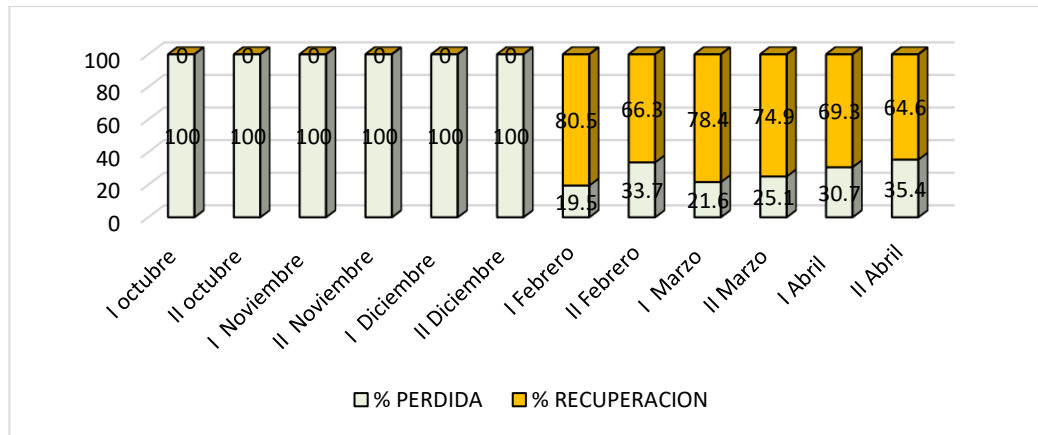


Figura 31. Gráfico comparativo de porcentaje de recuperación de mercurio Octubre-Abril

En la figura 31 se observa que las barras de color amarillo representan la recuperación de mercurio que se obtuvo en donde se aprecia recuperación máxima de un 80.5%, las barras de color gris representan el mercurio que no se recuperó que tiene un porcentaje de pérdida del 100% los cuales fueron los meses antes de la implementación de los equipos.

4.3.4. Perdida de oro

Tabla 27.

Perdida de oro

Descripción	Peso Tn	% Peso	Leyes Au (g/Tn)	Contenido Metálico Au (g/Tn)	% Distribución Au (g/Tn)
Febrero	35.698	100	32.160	1 148.06	100
Marzo	33.264	100	33.542	1 115.74	100
Abril	35.575	100	32.587	1 159.27	100
Total, de Au perdido				3423.07	100

En la tabla 27 se observa en el cuadro metalúrgico que la pérdida de oro en relaves de concentrado de Jig y Trapiche en tres meses de proceso es de 3420.07g de oro.

4.3.5. Recuperación de oro

Tabla 28.

Recuperación de oro con los equipos implementados

Mes	Detalle	Recuperación de Au en g.	Promedio g de Au mensual
Febrero	desenchaquetado de repulpeador cónico y molino de bolas	1006.00	
Marzo	desenchaquetado de repulpeador cónico y molino de bolas	962.10	986.00
Abril	desenchaquetado de repulpeador cónico y molino de bolas	989.90	
Recuperación total de oro		2958.00	

En la tabla 28 se observa que la recuperación de Au que se generó con la implementación de los equipos es de 2 958.00g en tres meses de proceso teniendo un promedio mensual de recuperación de 986.00g.

Tabla 29.

Cuadro general de pérdida y recuperación de oro en g/Tn

Mes	Tonelaje de relave tratado	Pérdida total de Au (g)	Pérdida de Au(g/Tn)	Recuperación Total de Au (g)	Recuperación de Au (g/Tn)	Diferencia total de recuperación
Febrero	35.698	1148.06	32.160	1006	28.181	3.979
Marzo	33.264	1115.74	33.542	962.1	28.923	4.619
Abril	35.575	1159.27	32.587	989.9	27.826	4.761
Total Promedio	104.537	3423.07	32.745	2958	28.296	4.449

En la tabla 29 se observa que la pérdida promedio de Au es de 32.745 g/Tn de relave, y con la implementación de los equipos se logra la recuperación

promedio de Au de 28.296 g/Tn de relave procesado lo que genera una perdida final promedio de Au de 4.449g/Tn que sigue con contenido Aurífero.

4.3.6. Recuperación de oro en porcentajes

Tabla 30.

Recuperación de oro en porcentaje

Mes	Tonelaje tratado	Au al 100% (g)	Recuperación Au con equipos implementados (g)	%Recuperación	% Perdida
Febrero	35.698	1148.06	1006.00	87.63	12.37
Marzo	33.264	1115.74	962.10	86.23	13.77
Abril	35.575	1159.27	989.90	85.39	14.61
Total	104.537	3 423.07	2 958.00	86.41	13.59

En la tabla 30 se puede observar que el máximo de recuperación de oro con la implementación de los equipos es de 87.63% y el minino es de 85.39%.

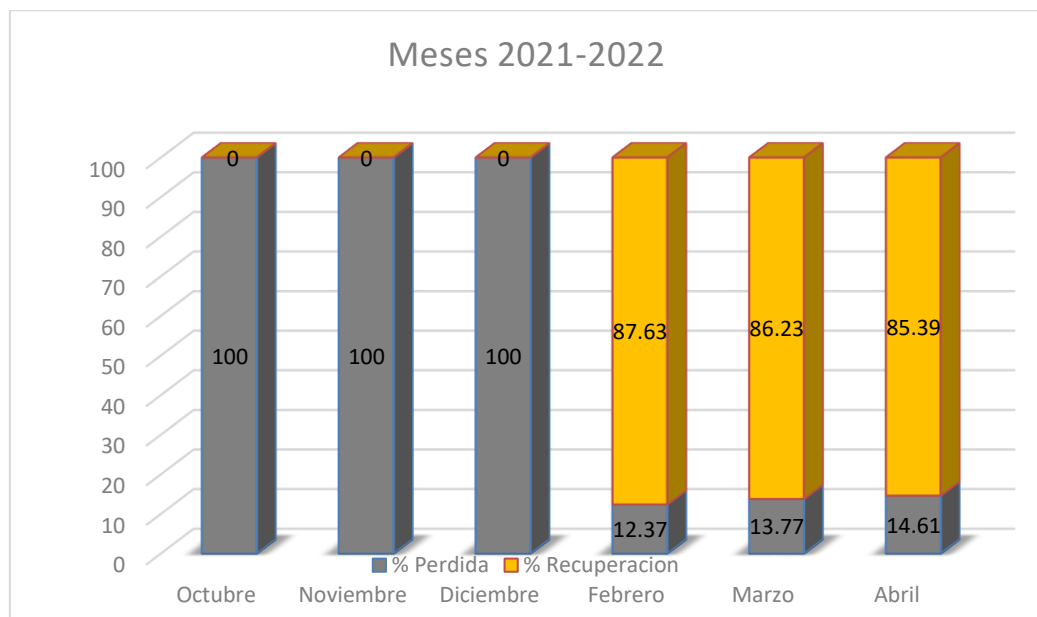


Figura 32. Gráfico comparativo de recuperación de oro Octubre-Abril.

En la figura 32 se observa la representación de seis meses de investigación (Octubre 2021-Abril 2022) en donde las barras de color amarillo representan la recuperación de oro que se obtuvo los meses de febrero, marzo y abril después de la implementación del repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas donde se aprecia la recuperación mínima de Au es de un 85.39%, mientras que las barras de color gris representan el oro que no se recuperó los meses de octubre, noviembre y diciembre que tiene un porcentaje de pérdida del 100% de Au, este porcentaje representa la pérdida que hubo antes de la implementación de los equipos.

4.3.7. Ingresos generados

Tabla 31.

Recuperación en soles

Detalle	Cantidad recuperada	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)	Promedio (S/./mes)
Mercurio (Hg)	19 400.30 kg	1200	S/. 23,280.36	S/.190,170.12
Oro (Au)	2 958.00 g	185	S/.547,230.00	
TOTAL			S/.570,510.36	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 31 se observa que la recuperación de mercurio y oro en soles que se obtuvo en tres meses de investigación con la implementación de un repulpeador cónico y molino de bolas con chaquetas fue de S/. 570,510.36 nuevos soles. Con un promedio mensual recuperado de S/. 190,170.12 Nuevos soles. Para determinar la recuperación neta mensual Nuevos soles se aplicó la siguiente fórmula:



R. N mensual

$$= (R. M Hg \text{ en } S/. + R. M Au \text{ en } S/.)$$

– ***Costo Mensual operacion***

$$R. N \text{ mensual} = (7,760.12 + 182,410.00) - 13,194.44$$

$$R. N \text{ mensual} = (190,170.12 - 13,194.44)$$

$$R. N \text{ mensual} = S/.176,975.68$$

La rentabilidad mensual generada con la implementación de los equipos es de S/. 176,975.68 Nuevos soles lo cual demuestra la utilidad económica favorable que se genera con el tratamiento de los relaves de amalgamación de concentrados generados en la planta concentradora Corporación Minera Ananea.

4.4. DISCUSIÓN

En la presente investigación se observó que se pierden cantidades significativas de mercurio y oro en los relaves de amalgamación, desprendiéndose que en la minería artesanal no se tienen métodos alternativos para su recuperación.

Apaza (2018) “Demuestra que hay presencia de las concentraciones de mercurio en el relave del Grupo Vol Company Union SAC, debido a que se tomaron tres puntos de muestreo teniendo un valor de 226.57mg/Kg; el oro fino que se escapa por el proceso de amalgamación es el 8% en promedio de la producción, concluyendo que se debe reaprovechar ese relave”

Cuentas & Velarde (2019) “En la rinconada el mercurio es utilizado ampliamente en la recuperación de oro muchas veces sin precaución causando un gran efecto contaminante, la utilización inadecuada de mercurio conduce a la producción de altas



perdidas tanto en forma de mercurio elemental, así como en forma de gas; se determinó que las pérdidas de mercurio en los molinos oscilan entre 6 a 9g de Hg para recuperar 1g de Au y en el caso de los Quimbaletes oscila entre 5 a 17g de Hg para recuperar 1g de Au.”

los autores citados en los párrafos anteriores realizaron sus investigaciones en zonas cercanas al presente estudio de investigación, en donde indican las pérdidas significativas que se generan en mercurio y oro por el proceso de amalgamación. En el presente trabajo de investigación se llegó a recuperar cantidades significativas de mercurio y oro que anteriormente eran depositados en relaveras, actualmente se sigue trabajando con estos equipos los cuales generan un ingreso extra para la empresa.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: La evaluación de pérdidas de Mercurio (Hg) y Oro (Au) que se generaron durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2021 antes de la implementación de un repulpeador de base cónica y un molino de bolas con chaquetas fueron de: 18 909.60 g de Hg y 2 382.76 g de Au los cuales generaron una pérdida en costos de: S/. 22,691.52 de Hg. y S/. 453,799.74 de Au.

SEGUNDA: Los costos generados en la instalación de un repulpeador de base cónica y un molino de bolas con chaquetas fueron de S/. 23,367.92. asimismo, se realizó la evaluación en costos generados de: mantenimiento de equipos, fuerza laboral, insumos químicos y energía generando un costo mensual de S/. 13,194.44.

TERCERA: Los equipos implementados fueron puestos a prueba los meses de febrero, marzo y abril del 2022 tratando 104.537 toneladas de relave, en donde se obtuvo 19 400.30 g de Hg y 2958.00g de Au. Teniendo una recuperación de 72.33% de Mercurio (Hg) y 86.41% de Oro (Au) promedio mensual. Alcanzando así una rentabilidad neta mensual de S/. 176,975.68 Nuevos soles para la empresa.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda implementar un hidro separador y una trampa cilíndrica de acero, para seguir recuperando el mercurio y oro fino.

SEGUNDA: Se recomienda realizar pruebas modificando los parámetros del repulpeador y molino de bolas como la densidad de pulpa y flujo de agua que ingresa al repulpeador para obtener mejores resultados.

TERCERA: Se recomienda buscar otras alternativas de recuperación de oro sin la utilización de mercurio para cuidar el medio ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, H. (2018). *Contenido de oro fino y mercurio en relaves de la planta minera Grupo Vol Company Unión SAC – Perú y su efecto económico*. [Tesis de postgrado]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru.
- Aramburu, V., Nuñez, P., Azañero, A., Figueroa, M. & Gagliuffi, P. (2010). Recuperación de oro y mercurio de los relaves del proceso de amalgamación con tecnología limpia. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Vol. 13* (Nº 25), 13-19. Retrieved from https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n25/pdf/a02v13n25.pdf
- Austin, L. & Concha, F. (1994). *Diseño y simulacion de circuitos de molienda y clasificacion*. Concepcion, Chile: CYDET. Retrieved from https://www.academia.edu/4003258/Austin_Concha_Disenio_y_Simulacion_de_circuitos_de_Molienda_y_Clasificacion
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigacion*. Venezuela: Consullores Asociados SER,VICTO EDITORIAL. Retrieved from <https://docer.com.ar/doc/x1vnvs0>
- Chacnama, E. (2016). *Recuperación de mercurio físico provenientes de relaves auríferos de amalgamación, concentrados y gravimetría en cianuración por agitación*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3354/IMchnae.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Chambi, D. (20113). *Diseño de un molino de bolas para la corporacion Minera Ananea S.A.* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Costa, M., Alfonso, P. & Palacios, S. (2009). Proceso de tratamiento para la recuperacion de oro en el asentamiento minero artesanal de MISKY, PERU. *Segundo congreso internacional sobre geologia y mineria en la ordenacion del territorio y en el desarrollo*, 231-242. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/157811671.pdf>
- Cuentas, M. & Velarde, J. (2019, Junio). Uso de mercurio en la rinconada -Puno. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 27-34. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/343575068_Uso_de_mercurio_en_la_Rinconada_-_Puno
- Huarecallo, A. (2019). *Optimización del proceso de recuperacion de oro con un concentrador centrífugo para la pequeña minería aurífera.* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Retrieved from http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3581/1524_2019_huarecallo_condori_as_fain_metalurgia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Llampi, S. (2013). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta gravimétrica de concentración de oro aluvial en Tingo María.* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Loza, A. & Cancapa, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada,Puno,Peru). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36 (1), 33-44. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53317>



- Metso, M. (2004). *Conocimientos basicos en el proceso de minerales*. Barcelona, España: 1.
- Navarro, M. (2017). *Estudio de la recuperacion de oro aluvial en concentrador falcon en la Cooperativa Minera Limata Ananea-Puno*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Jorge Basadre brohmann, Tacna, Perú. Retrieved from http://www.repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/2506/1254_2017_navarro_choque_mg_esme_ingenieria.pdf?sequence=1
- Pazmiño, I. & Muñoz, G. (2014). Evaluación de un proceso de beneficio de minerales por amalgamación: Afectaciones al rendimiento. *Centro de Investigación Aplicada de Metalurgia Extractiva*, 135 - 138. doi:ISSN: 1390-4663
- Republica, C. D. (2002). LEY N° 27651. *Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y la minería artesanal*. Congreso de la Republica, Lima, Perú. Retrieved from <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-27651.pdf>
- Telmer, K. & Daniel, S. (2012). *Reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala*. Kenia: PNUMA. Retrieved from <https://open.unido.org/api/documents/3333129/download/practical%20Guide.pdf>
- Valderrama, L., Santander, M., Ossandon, J. & Olgún, D. (2012). Recuperación de oro grueso en concentrador centrifugo KNELSON. *Revista de la Facultad de Ingenieria*, 35-41. Retrieved from <https://revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/280005.pdf>



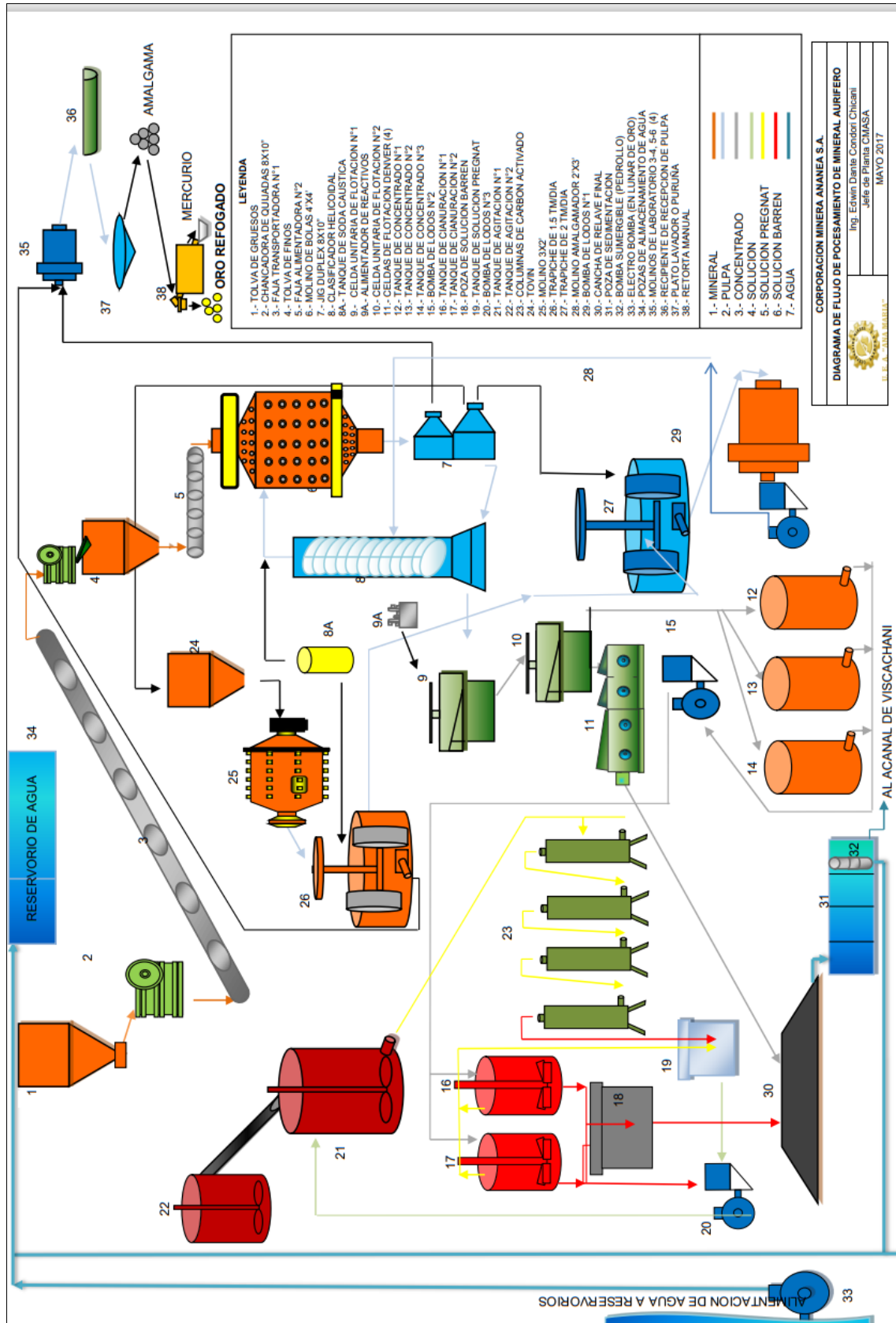
Vargas, V. (1995). *Estudio de la zona minera aurífera - La Rinconada*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Peru . Retrieved from <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/12675>

Villegas, A. F. (2015). *Optimización del tratamiento de minerales auríferos por el método de carbón en pulpa (CIP) en la planta de beneficio doble "D" minera Colibri*. [tesis pregrado]. Universidad Nacional San Agustín, Arequipa - Perú. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1784/AGviquafr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

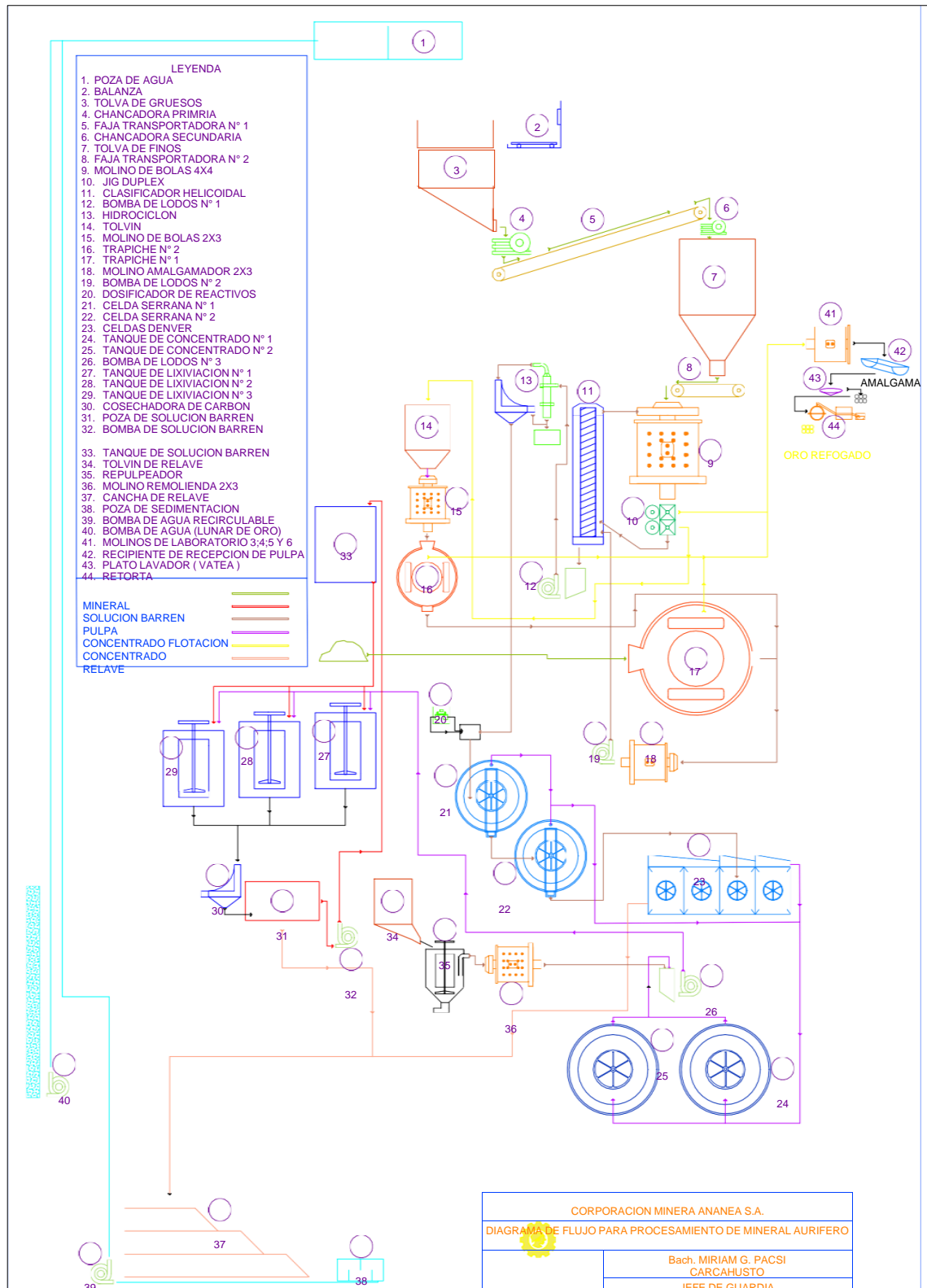


ANEXOS

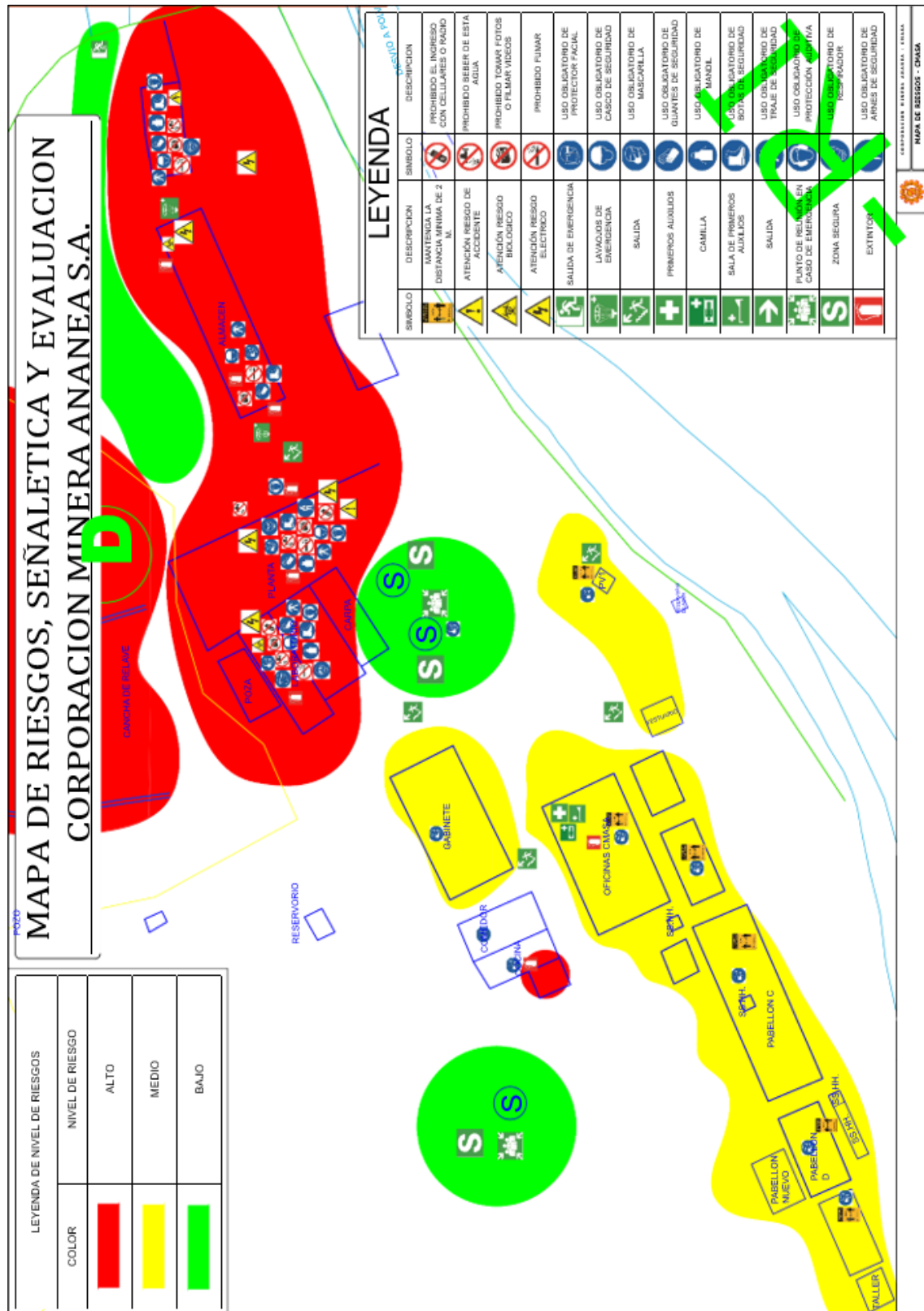
Anexo 1. Flow Sheet de Planta Concentradora CMASA antes de la instalación de equipos de investigación



Anexo 2. Flow Sheet de Planta Concentradora CMASA después de la instalación de equipos de investigación



Anexo 3. Mapa de riesgos de las instalaciones CMASA





Anexo 4. Formato de registro de perdida de Mercurio

TABLA Nº 1 DESCARGAS DE JIG				
Fecha	Descripcion	Hg (i)	Hg (f)	Perdida
4/03/2022	Descaga Jig T/B (6am)			
5/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
6/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
7/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
8/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
9/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
10/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
11/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
12/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
13/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
14/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
15/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
16/03/2022	Descaga Jig T/A (2pm)			
	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
17/03/2022	Descaga Jig T/AB (10pm)			
	Descaga Jig T/B (6am)			
			TOTAL	0.00



Anexo 5. Formato de registro de relave Procesado

REMOLIENDA - MARZO - 2022				
FECHA	T/A			OBSERVACIONES/ OCURRENCIAS
	N° SACOS	TMH relave de descargas	TIEMPO DE OPERACIÓN	
I C A M P A Ñ A	1/03/2022	DESENCHAQUETADO		
	2/03/2022			
	3/03/2022			
	4/03/2022			
	5/03/2022			
	6/03/2022			
	7/03/2022			
	8/03/2022			
	9/03/2022			
	10/03/2022			
	11/03/2022			
	12/03/2022			
	13/03/2022			
	14/03/2022			
	15/03/2022			
	16/03/2022	DESENCHAQUETADO		
	17/03/2022			
	18/03/2022			
I I C A M P A Ñ A	19/03/2022			
	20/03/2022			
	21/03/2022			
	22/03/2022			
	23/03/2022			
	24/03/2022			
	25/03/2022			
	26/03/2022			
	27/03/2022			
	28/03/2022			
	29/03/2022			
	30/03/2022			
TOTAL	0.000	0.000	0.000	

Anexo 6. Análisis de Ley de relave

Análisis Químico de ley de relave de Octubre 2021

REPORTE DIARIO DE LABORATORIO - ANÁLISIS VÍA SECA

FECHA DE PROCESO: DOMINGO 31 DE OCTUBRE DEL 2021

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Ton	FECHA MUESTRA
1	PLT-21-14327	CABEZA GRAL. FINOS T/A	1.900	30/10/2021
2	PLT-21-14328	CABEZA GRAL. FINOS T/B	1.850	30/10/2021
3	PLT-21-14329	RELAVE T/A	0.633	30/10/2021
4	PLT-21-14330	RELAVE T/B	0.533	30/10/2021
5	PLT-21-14331	CABEZA DE FLOTACION T/A	1.400	30/10/2021
6	PLT-21-14332	CABEZA DE FLOTACION T/B	1.700	30/10/2021
7	PLT-21-14333	RELAVE PLANTA	26.320	30/10/2021
8	PLT-21-14334	PULPA INTERMEDIO CIP 326 TK-01	1.600	30/10/2021

Relave T/A y T/B, analizados por debajo de malla: -200; cabe indicar que dichas muestras presentan bastante material grueso.

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	CONCENTRACION (Au) g/m3	FECHA MUESTRA
8	PLT-21-14334	SOLUCION INTERMEDIO CIP 326 TK-01	0.650	30/10/2021

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Kg	FECHA MUESTRA
9	CRBN-21-947	CARBON INTERMEDIO CIP 326 TK-1	0.250	30/10/2021

Sup. General
Sup. Mina.
Planta Beneficio.
Geología - Planeamiento.
Archivo

Ing. Edwar Valero TURPO ARQUETA
LABORATORIO QUIMICO
CM.A.S.I

*LEY DE AVANCE: Cabeza general planta T/A = 10.815 g/ton.
Contramuestra cabeza general planta T/A = 8.108 g/ton.*

Análisis Químico de ley de relave de Noviembre 2021

REPORTE DIARIO DE LABORATORIO - ANÁLISIS VÍA SECA

FECHA DE PROCESO LUNES 01 DE DICIEMBRE DEL 2021

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Ton	FECHA MUESTRA
1	PLT-21-14351	CABEZA GRAL. FINOS T/A	1.250	30/11/2021
2	PLT-21-14352	CABEZA GRAL. FINOS T/B	1.850	30/11/2021
2	PLT-21-14353	RELAVE T/A	0.567	30/11/2021
4	PLT-21-14354	RELAVE T/B	0.500	30/11/2021
3	PLT-21-14355	CABEZA DE FLOTACION T/A	1.250	30/11/2021
6	PLT-21-14356	CABEZA DE FLOTACION T/B	1.350	30/11/2021
7	PLT-21-14357	RELAVE PLANTA	24.946	30/11/2021

Relave T/A y T/B, analizados por debajo de malla: -200.

Ing. Edwar Valero TURPO ARQUETA
LABORATORIO QUIMICO
CM.A.S.I

*LEY DE AVANCE: Cabeza general planta T/A = 10.780 g/ton.
Contramuestra cabeza general planta T/A = 6.823 g/ton.*



Análisis Químico de ley de relave de diciembre 2021

REPORTE DIARIO DE LABORATORIO - ANÁLISIS VÍA SECA

FECHA DE PROCESO: VIERNES 31 DE DICIEMBRE DEL 2021

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Ton	FECHA MUESTRA
1	PLT-21-14260	CABEZA GRAL. FINOS T/A	2.250	30/12/2021
2	PLT-21-14261	CABEZA GRAL. FINOS T/B	1.850	30/12/2021
3	PLT-21-14262	RELAVE T/A	0.567	30/12/2021
4	PLT-21-14263	RELAVE T/B	0.633	30/12/2021
5	PLT-21-14264	CABEZA DE FLOTACION T/A	1.500	30/12/2021
6	PLT-21-14265	CABEZA DE FLOTACION T/B	1.650	30/12/2021
7	PLT-21-14266	RELAVE PLANTA	27.452	30/12/2021

Relave T/A y T/B, analizados por debajo de malla: -200.

Sup. General
Sup. Mina.
Planta Beneficio.
Geología - Planeamiento.
Archivo

Ing. Edwar Valero TURPO AROQUIPA
LABORATORIO QUIMICO
CMISA

LEY DE AVANCE: Cabeza general planta T/A = 15.916 g/ton.
Contramuestra cabeza general planta T/A = 10.560 g/ton.

Análisis Químico de ley de relave de Febrero 2022

REPORTE DIARIO DE LABORATORIO - ANÁLISIS VÍA SECA

FECHA DE PROCESO: MARTES 01 DE MARZO DEL 2022

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Ton	FECHA MUESTRA
1	PLT-22-14572	CABEZA GRAL. FINOS T/A	1.850	28/02/2022
2	PLT-22-14573	CABEZA GRAL. FINOS T/B	2.350	28/02/2022
3	PLT-22-14574	RELAVE T/A	0.533	28/02/2022
4	PLT-22-14575	RELAVE T/B	0.467	28/02/2022
5	PLT-22-14576	CABEZA DE FLOTACION T/A	1.400	28/02/2022
6	PLT-22-14577	CABEZA DE FLOTACION T/B	1.550	28/02/2022
7	PLT-22-14578	RELAVE PLANTA	32.160	28/02/2022

Relave T/A y T/B, analizados por debajo de malla: -200.

Sup. General
Sup. Mina.
Planta Beneficio.
Geología - Planeamiento.
Archivo

Ing. Edwar Valero TURPO AROQUIPA
LABORATORIO QUIMICO
CMISA

LEY DE AVANCE: Cabeza general planta T/A = 10.646 g/ton.
Contramuestra cabeza general planta T/A = 12.204 g/ton.



Análisis Químico de ley de relave de Marzo 2022

REPORTE DIARIO DE LABORATORIO - ANÁLISIS VÍA SECA

FECHA DE PROCESO: JUEVES 31 DE MARZO DEL 2022

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Ton	FECHA MUESTRA
1	PLT-22-14774	CABEZA GRAL. FINOS T/A	1.250	30/03/2022
2	PLT-22-14775	CABEZA GRAL. FINOS T/B	1.550	30/03/2022
3	PLT-22-14776	RELAVE T/A	0.567	30/03/2022
4	PLT-22-14777	RELAVE T/B	0.500	30/03/2022
5	PLT-22-14778	CABEZA DE FLOTACION T/A	1.150	30/03/2022
6	PLT-22-14779	CABEZA DE FLOTACION T/B	1.100	30/03/2022
7	PLT-22-14780	RELAVE PLANTA	33.542	30/03/2022
8	PLT-22-14781	PULPA FINAL CIP 276 - TK 03	1.850	31/03/2022

Relave T/A y T/B, analizados por debajo de malla: -200.

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	CONCENTRACION (Au) g/m ³	FECHA MUESTRA
8	PLT-22-14782	SOLUCION FINAL CIP 276 - TK 03	0.450	31/03/2022

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Kg	FECHA MUESTRA
8	CRBN-22-542	CARBON FINAL CIP 276 TK-3	1.000	31/03/2022

Sup. General
Sup. Mina.
Planta Beneficio.
Geología - Planeamiento.
Archivo

Ing. Edwar Valero TURPO AROQUIPA
LABORATORIO QUIMICO
C/454

*LEY DE AVANCE: Cabeza general planta T/A = 10.905 g/ton.
Contramuestra cabeza general planta T/A = 11.801 g/ton.*

Análisis Químico de ley de relave de Abril 2022

REPORTE DIARIO DE LABORATORIO - ANÁLISIS VÍA SECA

FECHA DE PROCESO: DOMINGO 01 DE MAYO DEL 2022

MUESTRA N°	CODIGO LAB.	DESCRIPCIÓN	LEY g/Ton	FECHA MUESTRA
1	PLT-22-14968	CABEZA GRAL. FINOS T/A	1.750	30/04/2022
2	PLT-22-14969	CABEZA GRAL. FINOS T/B	1.950	30/04/2022
3	PLT-22-14970	RELAVE T/A	0.600	30/04/2022
4	PLT-22-14971	RELAVE T/B	0.533	30/04/2022
5	PLT-22-14972	CABEZA DE FLOTACION T/A	1.200	30/04/2022
6	PLT-22-14973	CABEZA DE FLOTACION T/B	1.050	30/04/2022
7	PLT-22-14973	RELAVE PLANTA	32.587	30/04/2022

Relave T/A y T/B, analizados por debajo de malla: -200.

Sup. Mina.
Planta Beneficio
Geología - Planeamiento.
Archivo

Ing. Edwar Valero TURPO AROQUIPA
LABORATORIO QUIMICO
C/454

*LEY DE AVANCE: Cabeza general planta T/A = 13.913 g/ton.
Contramuestra cabeza general planta T/A = 10.081 g/ton.*

Anexo 7. Formato de desenchquetado recuperación de mercurio

I Campaña de febrero

TABLA Nº 5 DESENCHAQUETADO

Fecha	Descripcion	Hg (i)	Hg (f)	Perdida
16/02/2022	Tapa Molino 4x4	2000.00	2019.70	-19.70
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1434.80	65.20
	Desenchquetado del M 4x4	5000.00	5009.00	-9.00
	Desenchquetado del M 4x4	5000.00	5119.70	-119.70
	Desenchquetado del M 2x3	3000.00	2789.80	210.20
	Clasificador	1500.00	1445.80	54.20
	Scoop	1500.00	1418.60	81.40
	Scoop	1500.00	1412.50	87.50
	Limpieza Canaleta - Callejon	1500.00	1614.80	-114.80
	Limpieza Cajon Jig	1500.00	1437.40	62.60
	Limpieza Pisos Planta	1500.00	1487.60	12.40
	Trampa Cianuracion	200.00	222.20	-22.20
	Remolienda Cianuracion	1000.00	4225.50	-3225.50
	TOTAL			-2937.40

II Campaña de febrero

TABLA Nº 5 DESENCHAQUETADO

Fecha	Descripcion	Hg (i)	Hg (f)	Perdida
03/03/2022	Tapa Molino 4x4	2000.00	1952.50	47.50
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1474.20	25.80
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1450.10	49.90
	Desenchquetado del M 4x4	5000.00	4920.90	79.10
	Desenchquetado del M 4x4	5000.00	5364.00	-364.00
	Desenchquetado del M 2x3	3000.00	3109.70	-109.70
	Clasificador	1500.00	1451.70	48.30
	Scoop	1500.00	1436.50	63.50
	Scoop	1500.00	1449.60	50.40
	Limpieza Canaleta - Callejon	1500.00	1589.70	-89.70
	Limpieza Cajon Jig	1500.00	1473.00	27.00
	Limpieza Pisos Planta	1500.00	1469.00	31.00
	Trampa Cianuracion	200.00	217.50	-17.50
	Remolienda Cianuracion	1000.00	3683.00	-2683.00
TOTAL			-2841.40	

I Campaña de marzo

Fecha	Descripcion	Hg (i)	Hg (f)	Perdida
17/03/2022	Tapa Molino 4x4	2000.00	1966.40	33.60
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1457.70	42.30
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	4942.60	57.40
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	4911.30	88.70
	Desenchaquetado del M 2x3	3000.00	3000.30	-0.30
	Clasificador	1500.00	1422.20	77.80
	Scoop	1500.00	1430.20	69.80
	Scoop	1500.00	1394.60	105.40
	Limpieza Canaleta - Callejon	1500.00	1770.35	-270.35
	Limpieza Cajon Jig	1500.00	1433.00	67.00
	Limpieza Pisos Planta	1500.00	1470.90	29.10
	Trampa Cianuracion	200.00	230.20	-30.20
	Remolienda Cianuracion	1000.00	4369.80	-3369.80
			TOTAL	-3099.55

II Campaña de marzo

Fecha	Descripcion	Hg (i)	Hg (f)	Perdida
02/04/2022	Tapa Molino 4x4	2000.00	1951.00	49.00
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1469.00	31.00
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1452.00	48.00
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	5092.90	-92.90
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	4939.40	60.60
	Desenchaquetado del M 2x3	3000.00	2985.10	14.90
	Clasificador	1500.00	1403.60	96.40
	Scoop	1500.00	1458.60	41.40
	Scoop	1500.00	1457.80	42.20
	Limpieza Canaleta - Callejon	1500.00	1627.10	-127.10
	Limpieza Cajon Jig	1500.00	1418.60	81.40
	Limpieza Pisos Planta	1500.00	1494.70	5.30
	Trampa Cianuracion	200.00	223.30	-23.30
Remolienda Cianuracion	1000.00	4644.50	-3644.50	
			TOTAL	-3417.60

I Campaña de Abril

Fecha	Descripcion	Hg (l)	Hg (f)	Perdida
17/04/2022	Tapa Molino 4x4	2000.00	2005.80	-5.80
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1435.40	64.60
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	4720.10	279.90
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	5080.80	-80.80
	Desenchaquetado del M 2x3	3000.00	2976.80	23.20
	Clasificador	1500.00	1455.90	44.10
	Scoop	1500.00	1457.30	42.70
	Scoop	1500.00	1442.90	57.10
	Limpieza Canaleta - Callejon	1500.00	1734.50	-234.50
	Limpieza Cajon Jig	1500.00	1549.80	-49.80
	Limpieza Pisos Planta	1500.00	1458.10	41.90
	Trampa Cianuracion	200.00	235.50	-35.50
	Remolienda Cianuracion	1000.00	4445.70	-3445.70
			TOTAL	-3298.60

II Campaña de Abril

Fecha	Descripcion	Hg (l)	Hg (f)	Perdida
03/05/2022	Tapa Molino 4x4	2000.00	1908.40	91.60
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1505.90	-5.90
	Pulpa del Molino 4x4	1500.00	1438.60	61.40
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	5004.40	-4.40
	Desenchaquetado del M 4x4	5000.00	4672.80	327.20
	Desenchaquetado del M 2x3	3000.00	3043.50	-43.50
	Clasificador	1500.00	1453.60	46.40
	Scoop	1500.00	1440.20	59.80
	Scoop	1500.00	1438.10	61.90
	Limpieza Canaleta - Callejon	1500.00	1543.70	-43.70
	Limpieza Cajon Jig	1500.00	1498.70	1.30
	Limpieza Pisos Planta	1500.00	1476.80	23.20
	Trampa Cianuracion	200.00	304.10	-104.10
	Remolienda Cianuracion	1000.00	4031.80	-3031.80
			TOTAL	-2560.60



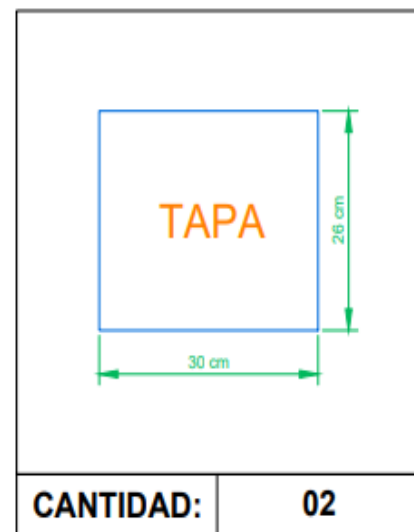
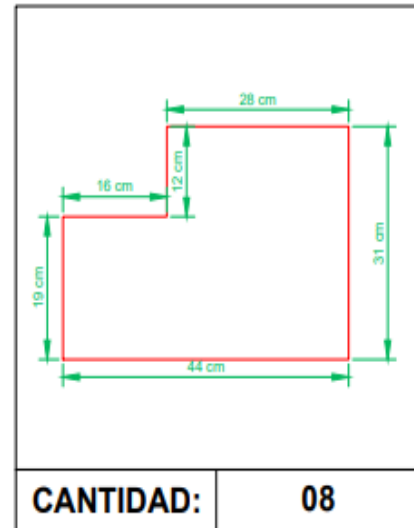
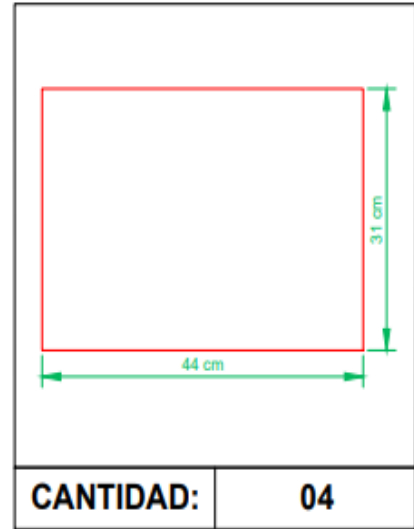
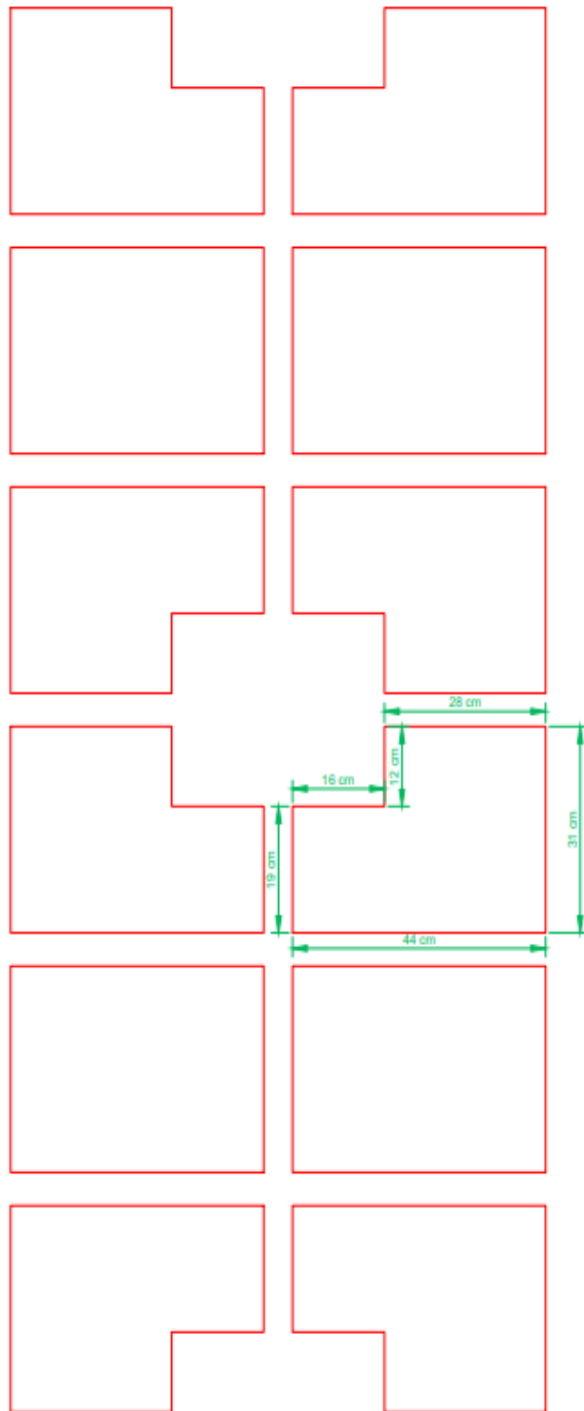
Anexo 8. Balance Metalúrgico

FEBRERO						
Producto	Peso TMS	% Peso	Leyes	Contenido Metalico	% Distribucion	Ratio
			Augr/TMS	Au gr/TMS	Au gr/TMS	
Cabeza	35.698	100.00	32.160	1148.057	100.00	
Conc. Au	10.596	29.68	94.940	1006.00	87.63	3.37
Relave	25.102	70.32	5.659	142.053	12.37	

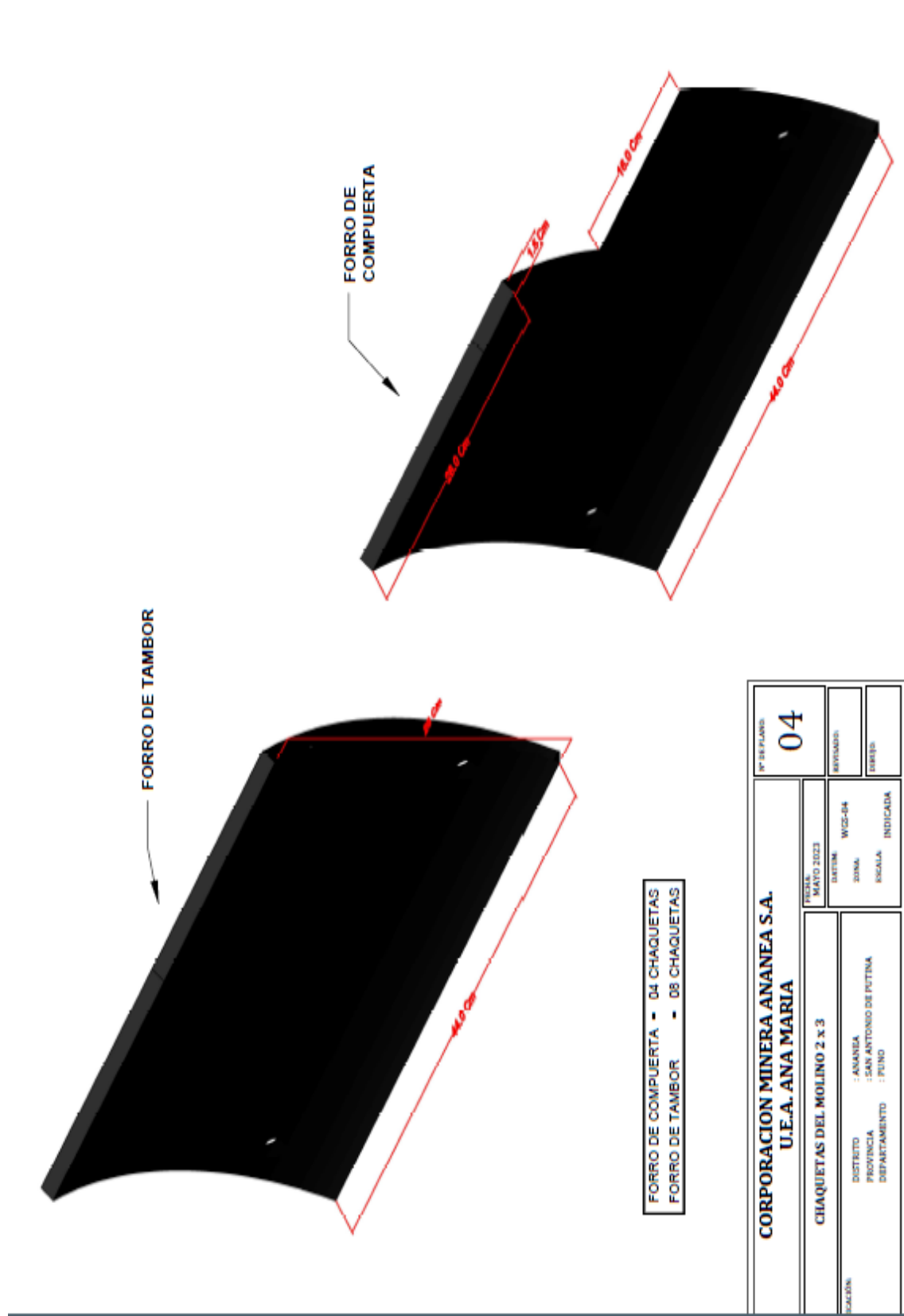
MARZO						
Producto	Peso TMS	% Peso	Leyes	Contenido Metalico	% Distribucion	Ratio
			Augr/TMS	Au gr/TMS	Au gr/TMS	
Cabeza	33.264	100.00	33.542	1115.741	100.00	
Conc. Au	10.793	32.45	89.145	962.10	86.23	3.08
Relave	22.471	67.55	6.837	153.637	13.38	

ABRIL						
Producto	Peso TMS	% Peso	Leyes	Contenido Metalico	% Distribucion	Ratio
			Augr/TMS	Au gr/TMS	Au gr/TMS	
Cabeza	35.575	100.00	32.587	1159.269	100.00	
Conc. Au	11.621	32.67	85.180	989.90	86.52	3.06
Relave	23.953	67.33	7.071	169.374	14.61	

Anexo 9. Plano de chaquetas de molino




Anexo 10. Chaquetas molino 2x3





Anexo 11. Especificaciones técnicas del Jig Duplex

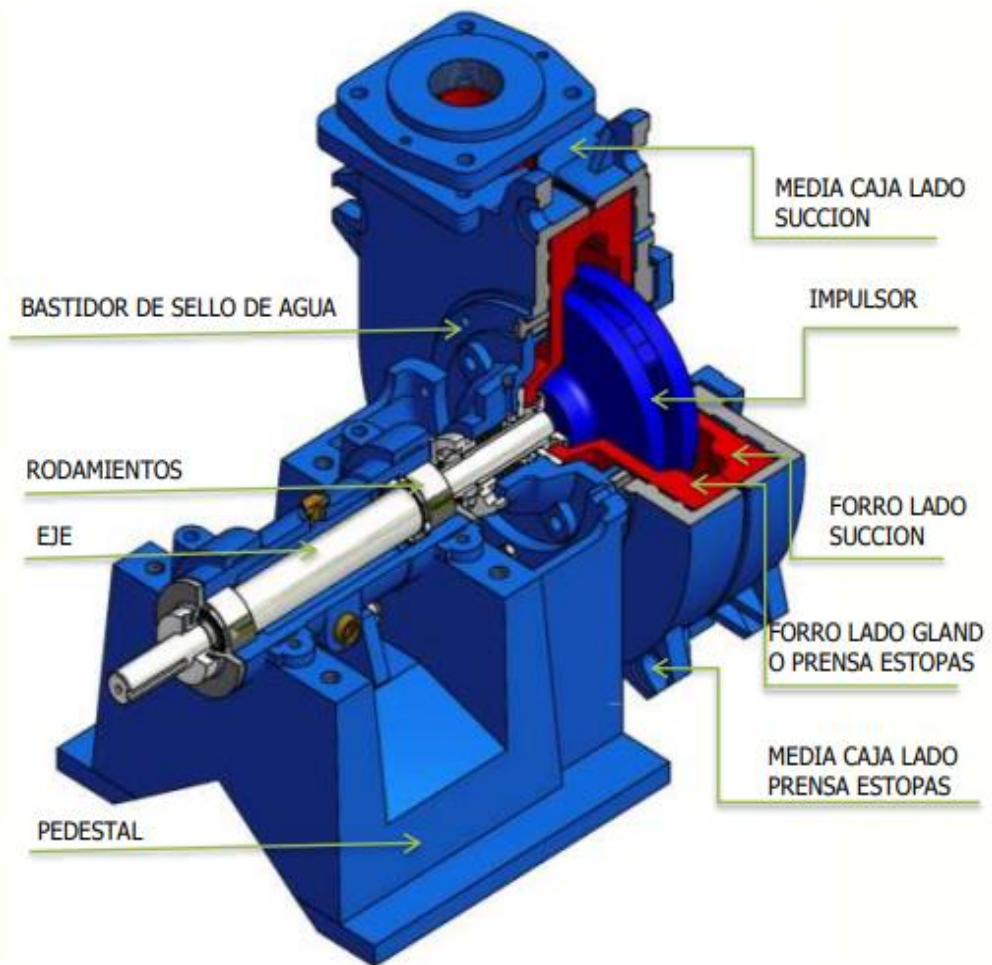
 U. E. A. "ANA MARÍA"	CORPORACION MINERA ANANEA S.A JIG DUPLEX		
TIPO	MECANICO		
MATERIAL	ACERO INOXIDABLE		
TRANSMISION	CORREA	A - 63	
RECORRIDO DE PULSACION	1.5cm ± 0.05		
NUMERO DE PULSACIONES	284 ± 0.5		
CARACTERISTICAS DEL MOTOR			
HP	1.0		
RPM	1750		
IN	1.75 Amp.	2.0 Amp	3.5 Amp
VN	440V Δ	380V λλ	220V ΔΔ
Cos ØΔλ	0.79		

Anexo 12. Especificaciones técnicas de bomba de lodos

 ICBA	FICHA TECNICA
BOMBA HORIZONTAL SELLO HÚMEDO ICBA	
<p>Bombas Horizontales Centrifugas con forros e impulsor especiales para el trabajo de pulpas abrasivas y/o corrosivas.</p>	
<p>Aplicaciones: En una planta de procesamiento de minerales se emplean bombas para el transporte de pulpas. Frecuentemente son bombeadas a distancias cortas dentro de la planta concentradora ó distancias largas como las canchas de relaves ó al interior de la mina para relleno hidráulico, para este fin pueden trabajar las Bombas en serie para aumentar su altura o en paralelo si se desea aumentar su capacidad.</p>	
<p>Las Bombas Sello Húmedo ICBA están constituidas básicamente por un impulsor, cajas de bomba que lleva forros interiores reemplazables que están expuestos a la pulpa bombeada. En el bastidor hay un ingreso de agua a presión al sello de asbesto grafitado, todo este sistema mantiene a la pulpa abrasiva lejos del área de área de empaquetaduras y con ello evitar el rápido desgaste del casquillo y otros componentes.</p>	
<p>Piezas de Desgaste: En el caso de las Bombas de Sello Húmedo sus forros son totalmente intercambiables como el Impulsor, Forro y Plato Lado Succión, y Forro Lado Gland y pueden ser fabricados de :</p>	
<ul style="list-style-type: none">➤ Caucho Natural resistente a la abrasión➤ Caucho Sintético como el Neopreno.➤ Poliuretano; altamente resistente a la abrasión y/o ataques de agentes químicos.➤ Metálico como el alto Cromo el Impulsor, caso extremo de resistencia a la abrasión.	
<p>Las capacidad de las Bombas de Sello Húmedo están diseñadas hasta una altura máxima de 140 ft de TDH y un rango de caudal desde unos 10 hasta los 4000 GPM.</p>	
	
Repuesto de Bomba Abierto	Repuesto de Impulsor Cerrado

BOMBA HORIZONTAL SELLO HUMEDO ICBA

Partes de una Bomba Horizontal Sello Húmedo ICBA:



Anexo 13. Fotografía panorámica de equipos implementados (circuito remolienda)





Anexo 14. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Miriam Gleyni Pácsi Carrabusto
identificado con DNI 90757802 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA METALÚRGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

“ IMPLEMENTACIÓN DE REPULFADOR CÓNICO Y MOLINO DE BOLSAS
CON CHAQUETAS PARA LA RECUPERACIÓN DE MERCURIO YORO EN Residuos de Amalgamación
” Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 14 de Junio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 15. Autorización para el depósito de tesis de investigación en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Miriam Gleyzi Pacsi Concabusta
, identificado con DNI 70757802 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA METALÚRGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"IMPLEMENTACIÓN DE REPLICACIÓN CÓNICA Y MOLINO DE BOLAS CON CHAQUETAS PARA LA RECUPERACIÓN DE MERCURIO Y ORO EN RESIDUOS DE AMALGAMACIÓN"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 14 de Junio del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella