



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE MOLINOS CONTINUOS
PARA MEJORAR EL PROCESAMIENTO DE MINERALES EN
LAS MINAS DE MUCCUMAYO CON DATOS DE LA MINA
WINCHUMAYO - PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MARCO ANTONIO ARIAS OCHOA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios, que ha sido mi guía y mi fuerza durante toda mi vida, y cuya mano de fidelidad y amor me ha acompañado hasta ahora.



AGRADECIMIENTOS

- A Dios y a mis padres por haber forjado día a día para convertirme como profesional y a toda mi familia por su apoyo permanente.
- Un sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, y particularmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y a todos los profesores que guiaron mi camino durante cinco años, compartiendo sus conocimientos, investigaciones y experiencias profesionales que me ayudaron a alcanzar mis metas académicas.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. Problema general.....	15
1.2.2. Problemas específicos	15
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1. Hipótesis general	15
1.3.2. Hipotesis específica.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	16
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5.1. Objetivo general	16
1.5.2. Objetivos específicos	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	17



2.2.	IMPLEMENTACIÓN	21
2.3.	MOLIENDA DE MINERALES	21
	2.3.1. Eficiencia de la molienda	22
2.4.	MOLINOS	23
	2.4.1. Partes principales de un molino	23
	2.4.2. Funcionamiento del molino.....	25
	2.4.3. Medios de molienda	26
2.5.	MOLINOS DE BOLAS	27
2.6.	VARIABLES OPERATIVAS DE LOS MOLINOS	27
	2.6.1. Carga de mineral	27
	2.6.2. Suministro de agua.....	29
	2.6.3. Carga de medios de molienda	30
	2.6.4. Condiciones de los blindajes.....	31
	2.6.5. Tiempo de molienda.....	31
2.7.	CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA.....	31
	2.7.1. Canaletas	32
2.8.	AMALGAMACIÓN	32
2.9.	MINERALOGÍA DE LA ZONA	34
2.10.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES TRADICIONAL EN LA MINAS DE MUCCUMAYO.....	35
	2.10.1. Selección de mineral	35
	2.10.2. Chancado.....	36
	2.10.3. Molienda	36
	2.10.4. Amalgamación	37
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	UBICACIÓN DEL PROYECTO	39



3.2.	ACCESO	40
3.3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.3.1.	Diseño de la investigación	40
3.3.2.	Enfoque de la investigación	40
3.3.3.	Población.....	41
3.3.4.	Muestra.....	41
3.4.	MATERIALES.....	42
3.4.1.	Equipos e instrumentos	42
3.4.2.	Insumos	42
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	43
3.6.	EVALUACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES CON LOS MOLINOS TRADICIONALES.....	43
3.6.1.	Características de los equipos en el área de molienda	43
3.6.2.	Costo de los equipos y accesorios	44
3.6.3.	Fuerza laboral.....	45
3.6.4.	Descripción del proceso	45
3.6.5.	Tonelaje y producción con los molinos tradicionales	46
3.7.	IMPLEMENTACIÓN DE LOS MOLINOS CONTINUOS	47
3.7.1.	Construcción de la infraestructura	47
3.7.2.	Montaje de planta	48
3.7.3.	Puesta en marcha de los molinos	49
3.8.	EVALUACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES CON LOS MOLINOS CONTINUOS	49
3.8.1.	Características de los equipos en el área de molienda	49
3.8.2.	Costo de los molinos continuos y accesorios	50
3.8.3.	Fuerza laboral.....	51
3.8.4.	Descripción del circuito de molienda.....	51



3.8.5. Amalgamación	54
3.8.6. Producción.....	54
3.8.7. Muestreo.....	55
3.8.8. Diagrama de flujo de la planta	56
3.8.9. Registro de tonelaje y producción con los molinos continuos	57
3.8.10. Amalgamación del concentrado	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADO DEL COSTO DE LOS EQUIPOS	59
4.2. RESULTADO DE LA FUERZA LABORAL	60
4.3. RESULTADO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	60
4.4. RESULTADO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN	60
4.5. RESULTADO DEL CONSUMO DE MERCURIO	61
4.6. RESULTADO DEL COSTO DE OPERACIÓN EN PLANTA.....	61
V. CONCLUSIONES.....	63
VI. RECOMENDACIONES.....	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	67

Área : Proyecto y Diseño de Plantas Metalúrgicas

Tema : Recuperación de Oro

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de julio de 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes principales de molino de bolas	25
Figura 2. Movimiento de carga en el molino	26
Figura 3. Selección de mineral tradicional.....	35
Figura 4. Chancado de minerales tradicional.....	36
Figura 5. Molinos tradicionales	37
Figura 6. Bateado de la amalgama	38
Figura 7. Ubicación del proyecto, (paraje Muccumayo)	39
Figura 8. Área de molienda tradicional.....	44
Figura 9. Construcción de la infraestructura.....	48
Figura 10. Montaje, instalación de los molinos	48
Figura 11. Molinos instalados y operativos	49
Figura 12. Alimentación de mineral al molino	52
Figura 13. Molienda primaria, molino 4x4.....	53
Figura 14. Remolienda, molino 3x4	53
Figura 15. Canaletas gemelas con alfombra	54
Figura 16. Desenchaquetado	55
Figura 17. Muestreo de faja alimentadora de molino	56
Figura 18. Diagrama de flujo de la planta.....	56



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Vías de acceso al proyecto.....	40
Tabla 2. Variables.....	43
Tabla 3. Costo de los molinos tradicionales	44
Tabla 4. Fuerza laboral en la planta tradicional.....	45
Tabla 5. Registro del procesamiento de minerales con los molinos tradicionales.....	47
Tabla 6. Costo de los molinos continuos y accesorios	50
Tabla 7. Fuerza laboral en la planta continua	51
Tabla 8. Registro del tonelaje y producción de los molinos continuos	57
Tabla 9. Resultado de costos de los molinos	59
Tabla 10. Diferencia de personal para procesar mineral con ambos molinos	60
Tabla 11. Resultado de la capacidad de producción de los molinos	60
Tabla 12. Resultado del porcentaje de recuperación de los molinos.....	60
Tabla 13. Resultado del consumo de mercurio entre ambos procesos	61
Tabla 14. Resultado del costo de operación en 15 días de trabajo	61
Tabla 15. Resultados del costo de insumos en 15 días de trabajo	62
Tabla 16. Resultado del costo total para procesar mineral durante 15 días en ambos molinos.....	62
Tabla 17. Resultado del costo para procesar una tonelada de mineral	62
Tabla 18. Resultado del costo para obtener 1 gr de oro en ambos molinos	62



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **%** : Porcentaje
- **Ag** : Plata
- **Au** : Oro
- **E.I.R.L** : Empresa Individual de Responsabilidad Limitada
- **g** : Gramo
- **Hg** : Mercurio
- **HP** : Caballo de fuerza
- **Hr** : Hora
- **Kg** : Kilogramo
- **KW** : Kilowatts
- **min** : minuto
- **S/** : Nuevo Sol
- **TM** : Toneladas Métrica
- **TMD** : Toneladas Métricas Día
- **TMS** : Toneladas Métricas secas



RESUMEN

En la zona de Muccumayo se encuentran ubicados las minas de Winchumayo, Valencia, Korimayo, Broncemayo, Balcon, estas minas desarrollan su actividad en forma artesanal y otros se encuentran en etapa de mecanización, las vetas y mantos de esta zona tienen una buena potencia pero han disminuido considerablemente su ley de oro ocasionando pérdidas y baja rentabilidad a los operadores mineros, el proceso que se utiliza para la recuperación de oro en esta zona emplea molinos de bolas de 2 x 2 donde la carga y descarga del mineral se realiza en forma manual, este tipo de proceso y equipos son deficientes debido a su baja capacidad de producción y recuperación de oro.

En el presente proyecto se implementó molinos continuos de bolas modelo Denver con chaquetas para procesar minerales que no son rentable procesarlos con los molinos tradicionales que se utilizan en la zona de Muccumayo, el proyecto de implementación empezó con la instalación de un molino 4 x 4 y su remolienda 3 x 4 en la planta concentradora de la mina Winchumayo al cual se tomó como muestra, se realizó el procesamiento de minerales con los molinos continuos durante toda una campaña de 15 días, al mismo tiempo se tomaron los datos en campo y se realizó una comparación con el procesamiento de minerales utilizando molinos tradicionales, por último se hizo una evaluación de los resultados obteniendo mayor capacidad de producción con los molinos continuos llegando a procesar hasta 330 TM con un porcentaje de recuperación de oro del 56 % y se redujo el costo de operación en 464.5 S/ por TM de mineral procesado en planta, este resultado nos permite garantizar la actividad minera en la zona de Muccumayo.

Palabras clave: Implementación, mejorar, molinos, procesamiento, recuperación.



ABSTRACT

The Winchumayo, Valencia, Korimayo, Broncemayo, Balcon mines are located in the Muccumayo area. These mines carry out their activity in an artisanal way and others are in the mechanization stage. The veins and mantles in this area have good power but they have considerably decreased their gold grade, causing losses and low profitability for mining operators. The process used to recover gold in this area uses 2 x 2 ball mills where the loading and unloading of the ore is done manually. , this type of process and equipment are deficient due to their low gold production and recovery capacity.

In this project continuous ball mills Denver model with jackets were implemented to process minerals that are not profitable to process with traditional mills used in the Muccumayo area, the implementation project began with the installation of a 4 x 4 mill and its 3 x 4 grinding in the concentrator plant of the Winchumayo mine, which was taken as a sample, the mineral processing was carried out with the continuous mills during an entire campaign of 15 days, at the same time the data were taken in the field and it was carried out a comparison with the processing of minerals using traditional mills, finally an evaluation of the results was made, obtaining greater production capacity with continuous mills, processing up to 330 MT with a gold recovery percentage of 56% and the cost was reduced. of operation in 464.5 S/ per MT of ore processed in the plant, this result allows us to guarantee the mining activity in the area of Mucumayo

Keywords: Implementation, to get better, mills, processing, recovery.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la región de Puno existen varios centros mineros que realizan su actividad de extracción y procesamiento de minerales auríferos como pequeños productores y en forma artesanal, este tipo de minería es el sustento económico de muchas familias y también genera movimiento económico principalmente en las zonas donde se encuentran ubicados estas minas, en la zona de Muccumayo están ubicados la mina Valencia, Broncemayo, Winchumayo, Balcon, Korimayo entre otros, estas minas se han visto afectados en la producción de oro ocasionando pérdidas y baja rentabilidad debido a que la ley de los minerales de las vetas y mantos existentes en la zona han bajado considerablemente por la naturaleza de las mismas, anteriormente en estos centros mineros se explotaban las vetas y mantos solo de buena ley superior a 12 g TM y se dejaba el mineral de menos ley debido a que no eran rentables en su momento, con el transcurrir del tiempo, la intensa extracción del mineral y la no ejecución de nuevos proyectos ocasionaron que se agoten las vetas y mantos de buen contenido de oro, en la actualidad un aproximado del 70 % del mineral de la zona está por debajo de los 12 g TM, esta ley no es rentable para la actividad debido a que no cubre el costo de operación, esto debido a una deficiente planificación de las operación y procesos que se realizan y los equipos con los que se realiza el procesamiento de minerales no garantiza una buena producción, también los costó de operación es alto por la lejanía de la zona y otros factores influyentes, es de necesidad implementar nuevos proyectos que nos permitan procesar estos minerales de baja ley en forma eficiente mecanizando el proceso con rentabilidad, seguridad garantizando una buena recuperación de oro y cuidando el medio ambiente.



Por estos motivos se realiza el presente proyecto de implementación de molinos continuos para mejorar el procesamiento de minerales auríferos de baja ley siendo los objetivos específicos aumentar la capacidad de producción y el porcentaje de recuperación de oro.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La rentabilidad de los operadores mineros que realizan actividad en la zona de Muccumayo en estos últimos años, se está viendo afectado debido a la disminución y agotamiento de minerales rentables con buena ley de oro, en las minas se tienen una gran cantidad de minerales con una ley menor a 12 g por TM, estos minerales se encuentran en forma de vetas, mantos y desmonte el problema es que la explotación de estos minerales ya no resulta rentable debido al elevado costo de operación que se da principalmente por la lejanía de la zona y otros factores, sumado a esto no hay un adecuado plan de minado y no se puede procesar grandes cantidades de mineral debido a que los molinos que se utilizan son molinos de bolas de 2 x 2 que tienen una capacidad de 1.050 TMD cada molino, la carga y descarga se realiza en forma manual lo cual demanda más cantidad de personal, el concentrado se obtiene de una canaleta con alfombras y se amalgama en los mismos molinos todo este proceso no se puede controlar en grandes cantidades por este motivo el porcentaje de recuperación es bajo.

Una alternativa para mejorar la rentabilidad es procesar todos estos minerales de baja ley en gran cantidad, mecanizando el proceso y garantizando una buena recuperación para lo cual se plantea la implementación de molinos continuos para el procesamiento de estos minerales que se tienen en gran cantidad por esta zona minera.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo mejorará el procesamiento de minerales y cuánto será el costo de operación en las plantas concentradoras implementando los molinos continuos en las minas de Muccumayo?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Con la instalación de los molinos continuos cual será la capacidad de producción de las plantas concentradoras?
- ¿Cuánto será el porcentaje de recuperación de oro procesando mineral con los molinos continuos?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Con la implementación de los molinos continuos se mejora el procesamiento de minerales y se baja el costo de operación en las plantas concentradoras de las minas de Muccumayo.

1.3.2. Hipotesis específica

- Con la instalación de los molinos continuos se incrementará la capacidad de producción de las plantas concentradoras.
- Evaluando el procesamiento de minerales con los molinos continuos se determinará el porcentaje de recuperación de oro.



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El proyecto de implementación de los molinos continuos en las minas de Muccumayo es una alternativa para elevar la rentabilidad de los operadores mineros que existen en esta zona, de esta manera podemos garantizar la actividad por uno tiempo más en vista que muchas familias dependen económicamente de esta actividad minera directa e indirectamente, estas minas se han visto afectados en la producción de oro debido a que la ley de los minerales de las vetas y mantos existentes en la zona han bajado considerablemente, sumado a esto el método y equipos que utilizan para procesar estos minerales son deficientes y no garantizan una buena recuperación de oro, el costo de operación para la extracción y el procesamiento del mineral con los molinos tradicionales que utilizan en la zona es elevado, todos estos factores hacen que la actividad no sea rentable, con la implementación de los molinos continuos se procesara mayor cantidad de mineral con menos personal y menor costo de operación, el porcentaje de recuperación de oro será mayor, de esta forma las minas que se encuentran en Muccumayo se volverán más rentables.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Implementar molinos continuos para mejorar el procesamiento de minerales y bajar el costo de operación en las plantas concentradoras de las minas de Muccumayo

1.5.2. Objetivos específicos

- Instalar los molinos continuos para incrementar la capacidad de producción de las plantas concentradoras.
- Evaluar el porcentaje de recuperación de oro procesando mineral con los molinos continuos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Lima (2018) el objetivo de esta investigación es conocer en qué medida mejora la recuperación de oro y disminuyen los costos de producción, realizar un análisis económico y ampliar la producción de la Planta de Beneficio de Geza Minerales Asís E.I.R.L. en la zona de Puno. Con la ampliación de la planta se buscó nuevas opciones para aumentar la producción de oro, por lo que se calculó la capacidad de los equipos de la planta para respetar las limitaciones de producción y permitir la modificación e culminación de nuevos equipos, así como su mejora, para lograr resultados satisfactorios.

Paredes (2017) en la investigación para el aumento de la extracción de oro en los circuitos de molienda, gravimetría y remolienda de la planta de Maraón (Compañía Minera Poderosa S.A.). Como parte de su filosofía de mejora continua basada en la gestión global de la calidad, cuenta con un programa para identificar las posibilidades de mejora del proceso en la mayoría de las actividades que realiza. Así, en la planta de cianuración de Maraón se han descubierto posibilidades de mejora en los procesos de trituración, molienda, cianuración y refinería, todo ello con el objetivo de optimizar su eficiencia. El proceso de molienda, en particular, que expone el oro contenido en el mineral a soluciones de cianuro, es directamente responsable de la cantidad que se pueda extraer el metal de oro, así como de la extracción de oro del mineral.

Soncco (2018) en la tesis: Optimización y evaluación del circuito de molienda - clasificación de la planta de beneficio de Centuri Mining Perú S.A.C. Aumentando la eficiencia de la operación de chancado y molienda, en base a un análisis de los cálculos



de la planta primaria, y controlando parámetros y evaluaciones, fue factible mejorar el porcentaje de operación de 87,32 por ciento a 93 por ciento.

Mamani (2018) evaluación de los minerales de oro de las regiones de Lechemayo - San Gabán Puno. Se observó una matriz de cuarzo que contiene el mineral llamado oro en pequeñas partículas y libre, así como pirita, hematita y ganga, con la muestra de cabeza con una ley de 4,66 g de Au /t y 12,6 g de Ag /t. La muestra fue flotada convencionalmente por primera vez con un tamaño de partícula de 55,1 por ciento –doscientas mallas, con un balance metalúrgico global que indica una recuperación de oro del 59,1 por ciento. Debido a lo inadecuado de los resultados obtenidos, el mineral se procesó utilizando el concentrador centrífugo Falcon con un tamaño de partícula de 55,1 por ciento –doscientas mallas, que dio lugar a las mayores recuperaciones de oro, del 90,97 por ciento. Por último, se decidió realizar pruebas con una mesa gravimétrica; la técnica recuperó el 86,4 por ciento del oro. Aquí se menciona que el concentrador Falcon es la mejor opción para este material.

Peralta (2019) técnicas y tecnologías utilizadas en la recuperación de oro en el Perú. Se han aumentado los estudios sobre nuevas formas para la recuperación del mineral denominada oro, no sólo para maximizar la rentabilidad y productividad durante el proceso de rescate, sino también para minimizar los daños ambientales causados por el uso de químicos y para mejorar el bienestar general de quienes los manejan directamente. En esta investigación se basa en una recopilación bibliográfica, ya que siendo el sexto productor mundial, nuestro país se ha visto impactado principalmente por la contaminación que producen al medio ambiente, que no se limitan a la minería artesanal e ilegal; estos problemas también existen en la minería industrial.



Salinas (2015) Evaluación del funcionamiento de un sistema de molienda de molino de bolas hardinge en Minalta S.A. en Zaruma, provincia de El Oro, Ecuador, en el año dos mil catorce. su fin de la tesis fue: Evaluar el funcionamiento del molino de bolas tipo "HARDINGE", que consta de una carcasa, camisas o revestimientos, rejillas, cuerpos de trituración, dispositivos de carga y descarga, y el accionamiento o mando del molino. Este molino se distingue de los demás por su forma cilíndrica y cónica; se utiliza con más frecuencia en el proceso de rectificación debido a su eficacia de molienda. Estos molinos de bolas son más eficientes que los de rueda porque ocupan la totalidad de su diámetro cilíndrico durante la molienda, resultando en una excelente remolienda y separación del oro encapsulado en los minerales. La distinción entre un molino de bolas del tipo "HARDINGE" y otros tipos de molinos es su eficacia, que oscila entre el ochenta por ciento y el noventa por ciento. El sistema de molienda se evaluó utilizando los flujos de entrada y salida del mineral, así como su flujo de recirculación, para lo cual se determinó el flujo másico (Kg/min). La evaluación reveló que el método de molienda tiene una eficacia del noventa por ciento. Se ha determinado que la eficacia del sistema de molienda depende de la densidad del material a procesar y de la frecuencia con la que se cargan las bolas.

Hurtado (2018) Diseño de planta con modelo horizonte para el procesamiento de minerales de oro con alta concentración de pirita y pirrotita. Resumen: El propósito de este estudio es demostrar cómo se desarrolla una planta comenzando con la caracterización de un mineral específico, luego se construye y opera utilizando el enfoque de horizonte para minerales de sulfuro de oro. Para el progreso de este trabajo se determinó que lo más conveniente era construir una planta con una capacidad de doscientos cincuenta TPD. Se caracterizó, diseñó y puso en marcha una planta con esta capacidad al inicio de la unidad Coripuno, ya que en ese momento había 250.000 TM de



mineral sulfurado proveniente de la minería artesanal con alto contenido de oro en pirrotitas, viendo estos, se realizó un plan para mejorar en el diseño de la nueva plata que procese estos minerales.

Freixas (2016) menciona que la pequeña minería del oro boliviana se está mejorando de forma integral. La minería de oro artesanal es el ingreso económico que tienen muchos mineros, más aun teniendo en cuenta la escasez de opciones económicas. Sin embargo, la forma de que realizan los trabajos de extraer el mineral y procesamiento de oro, ellos no tienen esa idea técnica, tecnología, cultura preventiva, planificación, seguridad e infraestructuras adecuadas, a menudo se pierden importantes beneficios y el proceso se ve gravemente contaminado.

Heredia y Zapata (2015) realizó la investigación: estudio para el montaje y puesta en marcha de una planta de procesamiento de mineral de oro en la región de reserva minera especial del municipio de Quinchía Risaralda. El objetivo es entregar a la Corporación del Área de la Reserva Minera Especial de Quinchía (CORPOARE) una propuesta de diseño de la planta que tenga en cuenta los principios técnicos y teóricos fundamentales para el dimensionamiento y selección de los equipos necesarios para el montaje de la planta de beneficio de minerales. De acuerdo a los estudios realizados, la mina podría alcanzar a extraer hasta sesenta toneladas de material de por cada día, esta investigación ha sido reportado por la Universidad de Caldas – CORPOARE.

García (2018) El efecto beneficioso de incluir un HPGR en el circuito de trituración durante el proceso de molienda. La creciente necesidad de procesar minerales con leyes más bajas, mineralogías complejas, contenido de metales refractarios y una variedad de tipos de rocas hace necesario el desarrollo de una tecnología de molienda que sea muy buena para potenciar más la energía a una alta capacidad para mitigar los



problemas metalúrgicos inherentes a los procesos de trituración y molienda convencionales, que estabilizan y maximizan la redención de metales. La molienda convencional no sólo es la etapa más cara del procesamiento de minerales, sino también la más crucial de la metalurgia, ya que la trituración y la molienda revelan las propiedades del mineral que el operador debe tener en cuenta a lo largo del proceso metalúrgico. Sin embargo, su función principal es facilitar el acceso o la liberación de metales valiosos sin alterar significativamente los procesos metalúrgicos posteriores. En estas circunstancias, se instaló un HPGR en los circuitos de chancado secundario y terciario de la Concentradora, donde su impacto benefició los procesos metalúrgicos y productivos de la operación, aumentando el tonelaje producido en un 5,84% y la recuperación de cobre al aumentar las microfracturas. Además, se obtuvo una ganancia significativa al disminuir el uso de energía particular del área de molienda en 0,79 kW-hr/TM.

2.2. IMPLEMENTACIÓN

El término "implementación" se refiere al proceso de llevar a cabo o poner en marcha una noción programada. El acto de poner en marcha procedimientos y estrategias, entre otros, para llevar a cabo una determinada actividad o plan.

Cuando una empresa se plantea ampliar su capacidad de producción de un determinado producto, puede encontrarse con momentos clave. Si esto ocurre, hay que sopesar la rentabilidad de la adquisición frente a la opción de construir o comprar la planta y el equipo asociado (Lima, 2018).

2.3. MOLIENDA DE MINERALES

La liberación de un mineral comienza con la trituración y concluye con la molienda; esto es fundamental porque determina el tonelaje y la liberación del mineral



precioso que debe agruparse posteriormente; en esta fase, el mineral valioso debe estar totalmente separado de la ganga.

Los molinos de barras suelen utilizarse para la molienda inicial, mientras que los molinos de bolas se utilizan para la molienda secundaria. Los molinos de barras suelen descargar a 1700 micras (10 mallas), mientras que los molinos de bolas pueden alcanzar una gama de tamaños dentro de las limitaciones económicas. Cuando los molinos funcionan en circunstancias estándar de homogeneidad de la dimensión de la alimentación, dilución, velocidad de funcionamiento crítica, nivel de medios y potencia de motor adecuada, este proceso es muy eficiente. Cuanto más fino es el mineral triturado, más caro es molerlo y, en cierta medida, una molienda más fina da lugar a mayores valores de recuperación. En consecuencia, la molienda óptima es la que maximiza las ventajas, tanto en términos de costes energéticos como de rendimiento neto en dólares de la producción (Bravo, 2013).

2.3.1. Eficiencia de la molienda

La eficacia de la molienda va depender generalmente e una serie de características, las cuales pueden ser las siguientes:

- La distribución del tamaño del mineral en la alimentación.
- Velocidad y capacidad del molino
- Diseño de los revestimientos del molino
- Modificación de las propiedades del mineral
- Distribución del tamaño del producto del molino - Volumen de la carga de molienda y dispersión del tamaño



- Clasificación eficaz, etc.

Las interrelaciones entre estas variables son complicadas y es necesario fijar ciertas variables para examinar su efecto.

La sección de molienda se considera uno de los componentes más cruciales y responsables de la planta, ya que es directamente responsable del tonelaje y la liberación.

2.4. MOLINOS

Los molinos son cilindros giratorios horizontales revestidos en su interior con materiales resistentes a la abrasión y llenos hasta un treinta a cuarenta y cinco por ciento de capacidad con barras o bolas de acero. Dentro de esta masa giratoria de ejes y bolas, el mineral fresco de la etapa de trituración, la carga de retorno o de circulación del hidrociclón (u/f) y suficiente agua se alimentan continuamente para formar una masa de mineral con suficiente plasticidad, de manera que la mezcla fluya hacia el extremo de descarga del molino bajo una ligera cabeza hidráulica (Bravo, 2013).

2.4.1. Partes principales de un molino

El Casco o cuerpo: Tiene forma cilíndrica y funciona en horizontal; esta configuración permite la carga y descarga continua. En su interior hay chaquetas o escudos que se fijan al cuerpo o casco del molino, protegiendo el cuerpo.

Las tapas: El casco cuenta con dos tapas finales idénticas, una en la entrada y otra en la salida, que soportan y unen los cascos al muñón.

Los muñones (Trunnion): Del centro de las tapas salen unos grandes tubos (conductos) llamados muñones. El muñón de entrada es por donde entra la carga, y el de salida es por donde sale la carga.



Estos muñones sirven de soporte para la rotación del molino. Tienen un cierre de goma para mantener la pulpa dentro. Los muñones se denominan trunnions.

Las chaquetas o forros: En algunos molinos, el casco y las tapas están revestidos por dentro con placas onduladas y rejillas de acero resistente. Éstas ayudan a proteger el casco contra los ejes o las bolas que chocan con él. Los pernos fijan los revestimientos al cuerpo del molino y a las tapas. La sustitución de los revestimientos es más rentable que la del cuerpo y las cubiertas.

Las chumaceras: Sirve de soporte para el molino y también como base giratoria del mismo.

Trommel. Sujeta las bolas, especialmente las que han sido sometidas a un desgaste extremo como consecuencia del trabajo, impidiendo que entren en las bombas.

El alimentador: Se utiliza para dar acceso a la carga del molino o a la pulpa. Tiene forma de espiral y se coloca en el muñón de entrada.

La carga moledora: Desempeñan un papel fundamental en el proceso de molienda del mineral. Se crean mediante el uso de bolas o ejes.

El sistema de transmisión: esta parte esta encargado en dar el movimiento al molino, se compone por:

- El acoplador es lo que une los ejes motrices.
- El piñón está situado en un eje, es el encargado de votar el movimiento a la catalina.
- El catalizador es una rueda dentada que rodea completamente el casco exterior.

- El motor eléctrico genera la potencia necesaria para hacer funcionar el molino, que está conectado al piñón a través del contraeje, que a su vez acciona la catalina.

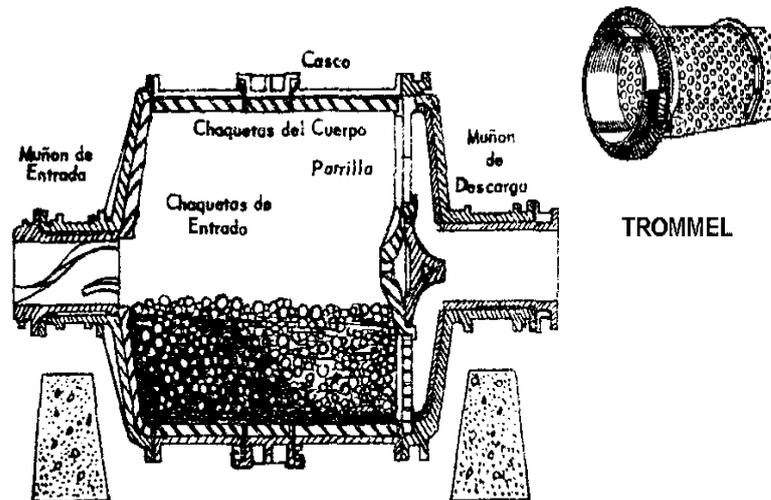


Figura 1. Componentes principales de molino de bolas

Fuente: (Bravo, 2013).

2.4.2. Funcionamiento del molino

Cuando el motor obtiene energía eléctrica, comienza a mover el piñón, que se desplaza hasta la catalina, y el molino comienza a girar a una velocidad predeterminada para cada tamaño de molino sobre sus muñones de soporte y rodamientos (velocidad de funcionamiento).

Cuando el molino está en funcionamiento, los ejes o bolas son elevados por las ondulaciones (lifter) de las camisas y se elevan hasta una altura determinada, desde la que caen en contacto entre sí y con las camisas. Se elevan y vuelven a caer, y así sucesivamente. Cada revolución del molino genera una secuencia de golpes y fricciones, que son los responsables de la molienda del mineral (Bravo, 2013).

2.4.3. Medios de molienda

El molino cilíndrico utiliza un gran número de barras o bolas que descienden en cascada para proporcionar la gran superficie necesaria para proporcionar la capacidad de molienda requerida. Estos cuerpos de movimiento libre, que son relativamente grandes y pesados en comparación con las partículas de mineral, se recogen y se elevan hasta un ángulo en el que la gravedad vence a las fuerzas centrífugas y de fricción. A continuación, la carga se catarata y cae en cascada hacia abajo y hacia fuera, rompiendo las partículas de mineral, a través de impactos repetidos y continuos, así como del rozamiento. Las bolas de molienda en contacto con el cilindro y las que se encuentran en varias capas dentro del cilindro giran a un ritmo proporcional y en la misma dirección que el molino.

Las protuberancias de las camisas, denominadas "lifters", actúan como elevadores, permitiendo que la carga de bolas de molienda se mueva con respecto a la carcasa. El deslizamiento de las bolas sobre el casco agota la potencia del molino y provoca un desgaste prematuro de las camisas y de las bolas, lo que supone un completo desperdicio. (Bravo, 2013).

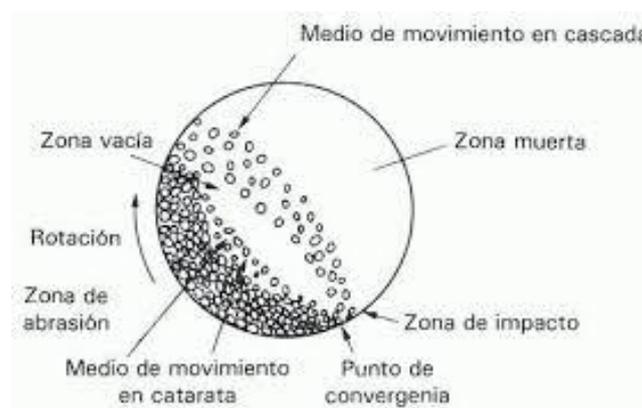


Figura 2. Movimiento de carga en el molino

Fuente: (Bravo, 2013).



2.5. MOLINOS DE BOLAS

Se llaman así porque contienen bolas. Suelen funcionar en circuito cerrado con un clasificador, pero también pueden funcionar en circuito abierto. El tamaño de la alimentación que pueden consumir varía en función de la dureza del mineral. Además, dependiendo de las circunstancias de trabajo, los productos pueden ser tan gruesos como treinta y cinco mallas o tan pequeños como cien por ciento menos de ciento cincuenta mallas con radios de reducción de 5 o más.

La acción de molienda de este tipo de molinos se consigue por el contacto entre las bolas y el mineral provocado por las cascadas y cataratas creadas por las bolas de diferentes diámetros levantadas por las camisas o revestimientos interiores del molino (Bravo, 2013).

2.6. VARIABLES OPERATIVAS DE LOS MOLINOS

2.6.1. Carga de mineral

Teniendo en cuenta que uno de los componentes que perturban a la producción en una planta concentradora es la cantidad de material tratado, si o si se debe controlar de forma minuciosa y perpetua el tonelaje del molino, o sea, comprobar con frecuencia la lectura de la báscula para asegurar que no se produzca un mal funcionamiento que provoque un mal cálculo de tonelaje. cabe mencionar que se debe cumplir con ciertas especificaciones, entre las que se encuentran las siguientes:

Cantidad y peso constante

Debe comprobarse regularmente para garantizar la mayor uniformidad posible en la carga. Si la carga se suministra de forma insuficiente, se pierde capacidad de molienda y se desperdician bolas y camisas. Cuando se introduce una cantidad excesiva de carga



en el molino, éste se sobrecarga y ya no trabaja como debe ser, ocasionando pérdida de tiempo durante el proceso de descarga.

Las básculas automáticas gestionan la cantidad de carga suministrada directa o indirectamente a través del sonido del molino, la densidad de la pulpa o el amperaje del motor del molino.

Si las bolas crean un ruido muy sordo dentro del molino, esto indica que está sobrecargado, ya sea por exceso de carga o por un suministro de agua inadecuado; si el ruido es grave, esto indica que el molino por falta de una carga en él, se está bajando o descargando por un suministro de agua excesivo.

Si la descarga del molino tiene una densidad elevada, se debe a un exceso de carga o a una insuficiencia de agua. Si la densidad es inferior a la habitual, se debe a una escasez de carga o a un exceso de agua.

El amperímetro vinculado al motor eléctrico del molino tiene la función de determinar y medir el consumo de la intensidad de corriente en amperios que produce el motor eléctrico, y las agujas deben estar configuradas para indicar un rango de valores predefinidos. Un descenso del amperaje implica que la carga es insuficiente, mientras que un aumento sugiere lo contrario (Bravo, 2013).

Tamaño apropiado y calidad. debe ser lo más homogéneo posible, es decir, el tamaño óptimo para maximizar el tonelaje. Una tolva de finos correctamente construida es fundamental para disminuir las fluctuaciones del tamaño de la alimentación del molino. Esta tolva bien diseñada minimiza la segregación de partículas finas y gruesas y siempre ayuda al flujo del mineral desde las tolvas.



La carga debe estar lo más limpia posible, es decir, desprovista de trapos, madera, componentes metálicos y otros residuos que puedan obstruir la entrada del molino.

2.6.2. Suministro de agua

El suministro de agua de los molinos viene determinado por la densidad de la pulpa a la salida del molino. Cuando el mineral y el agua entran en el molino, se combinan para producir una ligera lechada que tiende a adherirse a las bolas; por otra parte, el agua ayuda al avance de la carga dentro del molino en preparación para su posterior salida. Cuando se da una cantidad excesiva de agua, ésta limpia la superficie de las bolas, haciendo que choquen en lugar de moler el mineral, que se muele cuando el barro adherido a su superficie se queda pegado entre las bolas.

El exceso de agua acorta el tiempo que el mineral pasa dentro del molino, lo que da lugar a una carga que sale rápidamente y con un tamaño de grano grueso.

Cuando la carga es deficitaria en agua, la carga avanza lentamente y la lechada se vuelve extremadamente espesa, amortiguando el impacto entre las bolas e impidiendo una molienda adecuada. Este problema se resuelve añadiendo agua a la entrada del molino y controlando la densidad hasta regularizarla; si no se hace así, se produce una sobrecarga y una carga anormal en circulación. Por ello, se aconseja que los molineros dediquen más tiempo a su trabajo; también es necesario controlar el agua en función de la humedad del mineral, evaluando constantemente las densidades de descarga de los molinos.

Además, deben tener en cuenta que durante la etapa posterior de flotación por espuma, es fundamental que todos los minerales se reduzcan de tamaño hasta el punto de que cada partícula represente una única especie mineralógica (liberada); además, su tamaño debe ser el adecuado para que las burbujas de aire las lleven a la superficie de las celdas de flotación. En otras palabras, existe un límite de tamaño de partícula para la



flotación. Este tamaño viene determinado naturalmente por la composición del mineral y su peso específico. (Bravo, 2013).

2.6.3. Carga de medios de molienda

Como medio de molienda se utilizan barras y bolas. Las barras suelen ser de acero forjado, pero a veces se utiliza hierro fundido; las bolas son de acero forjado o fundido. La carga de medios de molienda viene determinada por el volumen que ocupará en el molino (30-45%), que viene determinado principalmente por el tamaño y el diseño del molino.

Es fundamental que el molino mantenga en todo momento su carga habitual de medios de molienda. La cantidad de medios de molienda consumidos viene determinada por la dureza del mineral, el índice de abrasión, el tamaño del mineral alimentado y la finura de molienda deseada. Diariamente se debe rellenar el peso de acero consumido el día anterior. Cuando hay un exceso de bolas en el molino, la capacidad de éste disminuye, ya que ocupan el espacio destinado a la carga. Cuando la carga de bolas es insuficiente, se pierde capacidad de molienda por la dificultad de llevar el mineral a la granulometría necesaria.

El consumo de bolas o ejes viene determinado por las siguientes variables

- La cantidad de mineral tratado y el pH del mineral tratado.
- El índice de abrasión del mineral.
- El tamaño de la carga en la entrada del molino
- La finura de la molienda, o el rendimiento (Bravo, 2013).



2.6.4. Condiciones de los blindajes

Es conveniente comprobar regularmente la calidad de los revestimientos, las camisas y los escudos; si se desgastan, no podrán elevar las barras o las bolas lo suficiente para cortar el mineral grueso.

El estado de la carga de las bolas y de los revestimientos puede controlarse directamente mediante la observación o indirectamente mediante la reducción de la capacidad de molienda y el análisis de la malla del producto molido (Bravo, 2013).

2.6.5. Tiempo de molienda

El grado de finura de las partículas descargadas viene determinado por la persistencia del mineral dentro del molino. Mientras que el grado de finura es directamente proporcional a la cantidad de tiempo de permanencia dentro del molino, la cantidad de mineral procesado disminuirá si la duración es excesiva. El tiempo de permanencia viene determinado por la cantidad de agua suministrada al molino; cuando se añade menos agua, el tiempo de permanencia será mayor; cuando se añade más agua, el tiempo de permanencia será menor (Bravo, 2013).

2.7. CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

La concentración gravimétrica es una técnica para separar partículas minerales con gravedades específicas diferentes, basada en los cambios de movimiento causados por la gravedad y/u otras fuerzas, como las fuerzas hidráulicas y de fricción (Valdivieso, 1999).



2.7.1. Canaletas

Los toboganes funcionan con la idea de que las partículas más pesadas descienden al fondo de una corriente de agua, mientras que las más ligeras permanecen en la corriente y se liberan río abajo. El oro y otras partículas pesadas quedan atrapadas en una superficie rugosa, como una alfombra. Al igual que ocurre con una pelota que rueda colina abajo, el flujo y el impulso aumentan con la distancia; por lo tanto, el mecanismo de atrapamiento es menos eficaz cerca del extremo de la canaleta, especialmente para el oro fino. Como resultado, en las canalizaciones simples, como la que se muestra a continuación, la mayor parte del oro se captura en el primer metro. Este problema puede evitarse con modelos más avanzados (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012).

2.8. AMALGAMACIÓN

La amalgama es el proceso de contacto del metal con el mercurio líquido para crear una amalgama, una mezcla de mercurio y oro o plata que da como resultado una partícula recubierta de mercurio con características comparables a las del mercurio. Al igual que las gotas de mercurio puro, estas partículas amalgamadas se unen entre sí para crear una partícula mayor denominada "amalgama". El mercurio puede amalgamarse con todos los metales excepto el hierro y el platino. El oro, en particular, tiene una amplia gama de combinaciones con el mercurio, que van desde el AuHg_2 hasta el Au_8Hg . AuHg_2 , Au_2Hg y Au_3Hg son las tres amalgamas principales. Dado que el oro debe entrar en contacto con el mercurio para amalgamarse, el oro contenido en otras sustancias (por ejemplo, sulfuros y cuarzo) no puede recuperarse hasta que las partículas de oro se liberen y entren en contacto con el mercurio mediante la trituration y la molienda.

El oro se presenta en la naturaleza en cuatro formas:

- a) el oro libre;



- b) el oro con una superficie limpia que se amalgama fácilmente;
- c) el oro con una superficie sucia que es amalgamable después de limpiar la superficie con reactivos apropiados o simplemente fregando en un medio acuoso; y
- d) el oro en solución sólida: el oro en ganga silíceo (amalgamable sin dificultad tras su fácil liberación por trituración); el oro en solución sólida (no amalgamable debido a su composición de sulfuro de oro); y el Te_2 (Au Ag) se tuesta antes de la amalgamación).

Numerosas variables desfavorables contribuyen a perjudicar la fusión. Cuando en el proceso intervienen variables desfavorables de diversa índole, como las que se describen a continuación, los resultados obtenidos por la amalgama son indeseables.

- a) el contacto insuficiente entre el oro y el mercurio,
- b) la presencia de oro en condiciones desfavorables para la amalgamación,
- c) el oro excesivamente fino con comportamiento coloidal o cuando está presente en copos muy finos que sobrenadan sin contacto con el mercurio,
- d) cuando el oro se encuentra como telurio,
- e) el oro incrustado en sulfuros, por ejemplo, la pirita aurífera,
- f) la superficie del oro está cubierta por una película extraña
- g) el mercurio es impuro,
- h) mercurio con apariencia de harina (floured mercury),
- i) pulpa contaminada con grasa, aceite talco, azufre, etc.



Debido a su sencillez, su justa eficacia y su escasa inversión de capital, la amalgamación es una tecnología muy utilizada en la minería del oro. (Cuentas, 2019).

2.9. MINERALOGÍA DE LA ZONA

Minerales de mena

En la veta que trabajamos, el material mineral identificado es el oro nativo, que se presenta dentro de cuarzo bandeado ahumado y lechoso, junto con varios minerales de sulfuro, particularmente minerales de sulfuro de hierro como pirita, arsenopirita y pirrotita (Chura, 2017).

- ORO (Au): El oro nativo es el principal material mineral descubierto en forma de trazas cuyo tamaño oscila entre 1 y 3 milímetros. De forma irregular y dispersa dentro de la veta de cuarzo en la sección superior, prácticamente junto a la caja de techo, encontramos pirrotita, calcopirita y bornita en cantidades traza con el oro (Chura, 2017).

Minerales de ganga

- Pirita (Fe S): Está presente en menor cantidad en forma dispersa en vetas de 1 a 2 mm de diámetro. Cristales finos de color amarillo latón en el interior de la veta y en las rocas del techo y del suelo.
- Arsenopirita (As Fe S). Es similar a la pirita en el sentido de que se presenta en forma de vetas de pequeños cristales amarillos dentro de la veta y se encuentra sobre todo en las rocas de till y de techo.
- Chalcopirita (Cu Fe S₂): Se presenta en parches junto al oro de la veta.

- Bornita (Cu Fe S₂): Este mineral se presenta en asociación con la calcopirita en la veta como pátina.
- Cuarzo (Si O₂): es el mineral de ganga más frecuente en la veta, y se presenta como cuarzo lechoso y ahumado.
- Hematita (FE O): Se encuentra en varios lugares a lo largo de la obra como resultado de la oxidación por el agua del hierro ocre rojo, lo que indica la presencia de minerales de hierro y también la descomposición de pirita y/o calcopirita (Chura, 2017).

2.10. DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES TRADICIONAL EN LA MINAS DE MUCCUMAYO

2.10.1. Selección de mineral

El mineral proveniente de las labores mineras subterráneas es llevado hacia el área de selección de mineral en donde un grupo de personas realizan el trabajo de escoger los minerales de tamaño superior a una pulgada para posteriormente realizar el chancado, también escogen la roca estéril pizarra y lo votan hacia desmonte, el mineral de tamaño menor a una pulgada que queda en esta área es llevado a la molienda.



Figura 3. Selección de mineral tradicional
Fuente: Elaboración propia.

2.10.2. Chancado

En esta zona solo se realiza chancado primario y los operadores mineros utilizan chancadoras a quijadas de diferentes capacidades según la operación que tengan, de esta manera se realiza el chancado del mineral superior a una pulgada que previamente se ha seleccionado, la alimentación del mineral a la chancadora se realiza en forma manual.



Figura 4. Chancado de minerales tradicional

Fuente: Elaboración propia.

2.10.3. Molienda

La molienda del mineral se realiza en molinos de bolas 2 x 2, el mineral es alimentado en forma manual mediante baldes con pesos de 30 kilos, la capacidad del molino es de 5 baldes y en total se carga 150 kilos de mineral y 150 Litros de agua, la molienda se realiza durante dos horas y luego se realiza la descarga, la pulpa de la descarga pasa por alfombras donde por gravedad se obtiene el concentrado y este es a razón de 5 a 1 quiere decir que por 5 baldes de mineral se obtiene 1 balde de concentrado, el concentrado obtenido es acumulado en sacos para su posterior amalgamación.

En cada molino se puede realizar de 8 a 10 molidas en las 24 horas dependiendo del material que se tenga, operador, insumos y condición del equipo en estos mismos molinos se realiza la amalgamación del concentrado



Figura 5. Molinos tradicionales

Fuente: Elaboración propia.

2.10.4. Amalgamación

La amalgamación del concentrado que se obtiene de las alfombras se realiza en los mismos molinos de bolas 2 x 2, donde se cargan 5 baldes de concentrado con 150 litros de agua y se añade mercurio dependiendo de la ley de que tenga el mineral, también se añade detergente, cal, orina, el tiempo de amalgamación es de una hora y media a dos horas dependiendo del operador minero, posteriormente se realiza el saque que consiste en hacer la descarga, sacar las bolas de acero y hacer una limpieza total del molino el producto que se obtiene es bateado para limpiar y concentrar la amalgama en seguida se separa el mercurio de la amalgama con un trapo y se refoga de esa manera se obtiene el metal valioso.



Figura 6. Bateado de la amalgama

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto de implementación de molinos continuos se ubica en el paraje de Muccumayo, comunidades campesinas de Upina y Carabaya, Distrito de Ituata, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, la muestra se realizó en la mina Winchumayo.



Figura 7. Ubicación del proyecto, (paraje Muccumayo)

Fuente: Foto satelital (GEOCATMIN).

Coordenadas del proyecto UTM WGS - 84

NORTE	ESTE
8486824	380207
8486643	378953

3.2. ACCESO

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

Tabla 1. Vías de acceso al proyecto

TRAMOS	TIPO DE VÍA	ESTADO DE VÍA	MEDIO DE TRANSPORTE	DISTANCIA (km)	TIEMPO
Puno - Juliaca	Asfaltado	Buena	Combi, Bus, Auto	45	50 min
Juliaca - Macusani	Asfaltado	Buena	Combi, Bus, Auto	209	3 horas
Macusani - Ayapata	Asfaltado - Afirmado	Regular	Combi, Auto, camioneta	60	1 h 50 min
Ayapata - Selva Alegre	Afirmado	Regular	Camioneta	150	2 h 30 min
Selva Alegre - Muccumayo	Afirmado	Regular	Moto Lineal	10	50 min

Fuente: Elaboración propia.

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Diseño de la investigación

Dado que el objetivo del proyecto es la implementación de molinos continuos y su incidencia en la producción y recuperación de oro a partir de minerales de baja ley en las minas de Muccumayo, se recurrió al diseño experimental y se determinó y evaluó la relación de causa – efecto del proyecto.

3.3.2. Enfoque de la investigación

El presente proyecto se desarrolla con el enfoque cuantitativo, por ser el más adaptable a las características y exigencias del estudio. Primeramente, se instaló los



molinos continuos posteriormente se recolectaron los datos en campo y se analizó para evaluar los resultados.

El enfoque cuantitativo implica la recogida y el análisis de datos para abordar las preguntas o interrogantes planteadas, ello siempre y cuando que esto sea con porcentajes (Hernández *et al.*, 2003).

3.3.3. Población

Conjunto de elementos que tienen un conjunto de características similares. Es la suma de un conjunto de elementos o situaciones, ya sean humanos, cosas o acontecimientos, que tienen unas cualidades específicas o un criterio y que se encuentran en el campo de estudio, por lo que se incluirán en la hipótesis de investigación. Cuando se trata de individuos humanos, es más apropiado llamarlos población; en cambio, cuando no son personas, es preferible llamarlos universo de estudio. (Sánchez *et al.*, 2018).

En la investigación participan: la mina Winchumayo, valencia, Broncemayo, Korimayo, Balcon de oro, buena vista, vicuña.

3.3.4. Muestra

Conjunto de instancias o personas extraídas de una población mediante un método de muestreo probabilístico o no probabilístico (Sánchez *et al.*, 2018).

En este proyecto se tomó como muestra a la mina Winchumayo donde se implementó los primeros molinos continuos y se demostró la eficiencia de estos en producción y recuperación de oro.



3.4. MATERIALES

Para la implementación y estudio del presente proyecto se ha requerido una serie de equipos, instrumentos, insumos y análisis químico.

3.4.1. Equipos e instrumentos

- Estructura de la planta concentradora
- Chancadora
- Fajas
- Tolva de finos
- Molinos de bolas (continuos)
- Molino amalgamador
- Canaletas con alfombra
- Balanzas
- Refogador
- Materiales y herramientas que se utilizan en planta
- Material de escritorio

3.4.2. Insumos

- Mercurio
- Cal
- Detergente



- Cloro

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En esencia, un instrumento de recogida de datos es cualquier recurso que un investigador puede emplear para acercarse y extraer información de los sucesos. Así, el instrumento sintetiza todo el trabajo de investigación y resume las aportaciones del marco teórico al recoger datos que se correlacionan con los indicadores y, por tanto, con las variables e ideas empleadas (Sabino, 1992).

La recaudación de datos se realizó en campo utilizando como instrumento los reportes de guardia y formatos elaborados para llevar el control de los parámetros, tonelajes, insumos, equipos y otros según la necesidad del proyecto. Ver (Anexo A).

Cuando se aprobó el proyecto de investigación se recolectó información, datos, parámetros de los molinos tradicionales que utilizan para el rescate de oro en la zona de Muccumayo, de la misma forma una vez instalado los molinos continuos se recolectó información, datos, parámetros y se realiza la evaluación y comparación.

Tabla 2. Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	ESCALA
Mejorar	Capacidad Recuperación (Au)	Toneladas %

Fuente: Elaboración propia.

3.6. EVALUACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES CON LOS MOLINOS TRADICIONALES

3.6.1. Características de los equipos en el área de molienda

Los equipos del área de molienda de la planta concentradora donde se realizó el proyecto tienen las siguientes características:

- 10 molinos de bolas 2 x 2
- Cada molino tiene una capacidad de 150 KG por molida
- Motor de 5 HP
- Consumo de energía 3.7 KW
- 10 Canaletas con alfombra de 3 metros de largo por 50 cm de ancho

Estos mismos molinos se utilizan para la amalgamación del concentrado



Figura 8. Área de molienda tradicional

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Costo de los equipos y accesorios

Tabla 3. Costo de los molinos tradicionales

EQUIPO/ ACCESORIO	UNIDADES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO (S/)
Molino	Unid	10	7,000.00	70,000.00
Motor	Unid	10	1,000.00	10,000.00
Tablero	Unid	10	500.00	5,000.00
Bolas de acero	Kilos	2500	3	7,500.00
TOTAL				92500

Fuente: Elaboración propia.



- Los tambores de los molinos tienen una vida útil de 1600 horas de trabajo, de ahí se realiza el cambio, el precio del tambor es de 2000 S/.
- El desgaste de las bolas de acero es de 2.5 Kg por día para cada molino

3.6.3. Fuerza laboral

Tabla 4. Fuerza laboral en la planta tradicional

CARGO	CANTIDAD EN 3 TURNOS	DESCRIPCIÓN	SALARIO ESTIMADO MENSUAL S/	SALARIO TOTAL S/
Supervisor	01	Supervisa, coordina los trabajos en planta	3,000.00	3,000.00
Selección	09	Selecciona mineral, finos, gruesos e impurezas	1,500.00	13,500.00
chancador	03	Chanca mineral grueso	2,000.00	6,000.00
Molinero	15	Carga de mineral y descarga los molinos	2,000.00	30,000.00
Alfombra	09	Hace pasar la pulpa por las alfombras, sacude la alfombra	1,800.00	16,200.00
Mecánico	01	Realiza el mantenimiento de la chancadora y molinos	1,000.00	1,000.00
TOTAL	38			69,700.00

Fuente: Elaboración propia.

El pago al personal que trabaja en mina y planta de procesos es por el sistema de chichiqueo a riesgo compartido.

3.6.4. Descripción del proceso

El mineral que se va a moler es previamente clasificado y chancado menor a una pulgada aproximadamente, este mineral es alimentado en forma manual mediante baldes que tienen una capacidad de 30 kilos de mineral, la capacidad del molino es de 5 baldes



y en total se carga 150 kilos de mineral a esto se agrega ciento cincuenta litros de agua este trabajo lo realiza el operador de molino (molinero) que está encargado de operar 2 molinos durante el turno, la molienda se realiza durante 2 horas y luego se realiza la descarga de la pulpa, esta pulpa cae y pasa por canaletas de madera que tienen alfombras donde por gravedad se obtiene el concentrado, este concentrado es almacenado en sacos para su posterior amalgamación.

El concentrado que se obtiene por cada molienda es a razón de 5 a 1, es decir que de cada 5 baldes de mineral que se muele se obtiene 1 balde de concentrado.

En la planta se trabaja con 10 molinos y en cada molino se realiza 7 molidas desde las 6:00 am hasta las 12:00 am y en la madrugada de doce de la mañana a seis de la mañana se realiza la amalgamación del concentrado que se junta durante el día, la cantidad de mineral que se procesa en las 24 horas trabajadas sin interrupción es de 10 toneladas.

La amalgamación del concentrado que se obtiene de las alfombras se realiza en horas de la madrugada de 12:00 am a 6:00 am y se realizan en los mismos molinos que son cargados con 4 baldes de concentrado, 130 litros de agua, mercurio 100 a 500 gramos según la ley del mineral, detergente 140 g, cal 100 g y orina 18 litros, este es amalgamado durante 2 horas y en seguida se realiza la descarga del molino, sacado de las bolas de acero, limpieza total del molino, el producto que se obtiene es bateado para limpiar y concentrar la amalgama en seguida se separa el mercurio de la amalgama con un trapo y ese producto se refoga para obtener el metal valioso.

3.6.5. Tonelaje y producción con los molinos tradicionales

En la tabla se ve el acumulado de mineral procesado y la recuperación de oro que se obtiene durante 15 días de trabajo con los molinos tradicionales, estos datos se

obtuvieron de los reportes diarios en planta y análisis de minerales en laboratorio. Ver (Anexo B, C)

Tabla 5. Registro del procesamiento de minerales con los molinos tradicionales

REGISTRO DEL PROCESAMIENTO DEL MINERAL DEL 01 al 15 de FEBRERO											
Num. De Mol	Cantidad de molidas (mineral)	TM	CABEZA		Recup %	Cantidad de molidas (amalgama)	Producción		INSUMOS		
			Ley Au	Relave			Au g	Hg Kg	Hg Recuperado Kg	Cal Kg	Detergente Uni
1	104	15.6	16.25	7.97	51	30	129.16	3	2	3	30
2	104	15.6	16.25	7.97	51	30	129.16	3	2	3	30
3	103	15.45	16.25	7.97	51	30	127.92	3	2	3	30
4	103	15.45	16.25	7.97	51	30	127.92	3	2	3	30
5	103	15.45	16.25	7.97	51	30	127.92	3	2	3	30
6	103	15.45	16.25	7.97	51	30	127.92	3	2	3	30
7	104	15.6	16.25	7.97	51	30	129.16	3	2	3	30
8	104	15.6	16.25	7.97	51	30	129.16	3	2	3	30
9	103	15.45	16.25	7.97	51	30	127.92	3	2	3	30
10	104	15.6	16.25	7.97	51	30	129.16	3	2	3	30
Total	1035	155.25				300	1285.4	30	20	30	300

Fuente: Reporte diario de planta.

3.7. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MOLINOS CONTINUOS

La implementación de los molinos continuos se realizó en la planta concentradora de la Mina Winchumayo el cual se encuentra ubicado en la zona de Muccumayo, los molinos fueron adquiridos de la empresa J&J Manufacturas Industriales - Juliaca, la implementación se realizó de la siguiente manera.

3.7.1. Construcción de la infraestructura

Esta etapa consistió en la preparación del terreno donde se desarrolló movimiento de tierras y voladura, luego se hizo el trabajo construcción y techado del ambiente, cabe mencionar que en zona no hay maquinaria debido a la lejanía y dificultad de la zona

debido a que la única movilidad que llega son las motos lineales, estos factores hicieron que los trabajos sean más dificultosos, pero se logró concluir el trabajo.



Figura 9. Construcción de la infraestructura

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Montaje de planta

El montaje de la planta consiste en el armado instalación de los equipos como son chancadora, fajas y los 2 molinos continuos como también la instalación de los servicios, agua, energía, tuberías. Etc.



Figura 10. Montaje, instalación de los molinos

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3. Puesta en marcha de los molinos

En esta etapa se pusieron en movimiento los equipos, se observaron las fallas de los equipos y circuito, se subsanaron todas las fallas, en seguida se empezó a trabajar por dos semanas en donde se realizó la observación de los equipos y circuito con mineral de la misma forma se corrigió cualquier error, también se hizo el control de los parámetros y los molinos quedaron listos para producir.



Figura 11. Molinos instalados y operativos

Fuente. Elaboración propia.

3.8. EVALUACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES CON LOS MOLINOS CONTINUOS

3.8.1. Características de los equipos en el área de molienda

- Tolva de finos para 10 toneladas
- Faja para alimentar al molino, 20''x2m, motor de 2 HP, 1,5 KW
- Molino de Bolas 4 x 4 con chaquetas, 30 TMD de capacidad, motor de 50 HP, 37 KW



- Molino de Bolas 3 x 4 con chaquetas, motor de 25 KW, 18.6 KW
- Seis Canaletas de madera de cincuenta centímetros de ancho y tres metros de largo
- Cuarteador de faja, balanzas.
- Molino de bolas 2 x 2, para amalgamación de concentrado

3.8.2. Costo de los molinos continuos y accesorios

Tabla 6. Costo de los molinos continuos y accesorios

EQUIPO	UNIDADES	CANTIDAD	COSTO	COSTO
ACCESORIOS			UNITARIO	TOTAL
Tolva de finos	Unidad	01	9,200.00	9,200.00
Faja alimentadora	Unidad	01	6,000.00	6,000.00
Molino 4x4	Unidad	01	190,000.00	190,000.00
Molino 3x4	Unidad	01	96,000.00	96,000.00
Chaquetas para cambio molino 4x4	Unidad	24	750	18,000.00
Chaquetas para cambio molino 3x4	Unidad	18	670	12,000.00
Tablero molino 4x4	Unidad	01	20,000.00	20,000.00
Tablero molino 3x4	Unidad	01	15,000.00	15,000.00
Bolas de acero 4x4	Kilos	2000	3	6,000.00
Bolas de acero 3x4	Kilos	1000	3	3,000.00
TOTAL				375,200.00

Fuente: Elaboración propia.



3.8.3. Fuerza laboral

Tabla 7. Fuerza laboral en la planta continua

CARGO	CANTIDAD EN 3 TURNOS	DESCRIPCIÓN	SALARIO ESTIMADO MENSUAL S/	SALARIO TOTAL S/
Supervisor / ingeniero	01	Supervisa, controla y coordina los trabajos en planta	3,000.00	3,000.00
Chancador	02	Realiza el chancado de mineral, controla los equipos	2,500.00	5,000.00
Operador de molino	03	Controla los parámetros de molienda y equipos	2,500.00	7,500.00
Alfombra	03	Hace pasar el concentrado de las alfombras	1,500.00	4,500.00
Amalgamador	01	Realiza la amalgamación del concentrado	2,000.00	2,000.00
Mecánico	01	Realiza el mantenimiento de la planta	1,000.00	1,000.00
TOTAL	11			23,000.00

Fuente: Elaboración propia.

El pago al personal que trabaja en mina y planta de procesos es por el sistema de chichiqueo a riesgo compartido.

3.8.4. Descripción del circuito de molienda

Alimentación. la alimentación de mineral hacia los molinos se realiza desde la tolva de finos de 10 TM de capacidad mediante la faja transportadora N° 02, de 20'' x 2m donde también se realiza el muestreo.



Figura 12. Alimentación de mineral al molino

Fuente: Elaboración propia.

Molienda primaria. Se realiza en el molino 4 x 4 a donde ingresa el mineral fresco y agua, también se agrega mercurio (Hg) y detergente, en esta etapa se concentra el oro grueso y el operador de molino debe controlar parámetros como el agua que ingresa que debe estar entre 0.4 – 0.5 L/ Seg, peso de la alimentación de mineral que debe de estar en un promedio de 1000 gr por muestra, la densidad de la pulpa que sale del molino está en un promedio de 1.5 g/L como también la granulometría, todo estos parámetros nos permiten tener un mejor control del proceso y de esta manera llegar al objetivo deseado, en esta etapa también se controlan y monitorear los equipos como consumo de energía, Amperaje, aumento de billas, engrase y cualquier falla que podría presentarse durante el trabajo.



Figura 13. Molienda primaria, molino 4x4

Fuente: Elaboración propia.

Remolienda. La pulpa que sale del molino 4 x 4 ingresa al molino 3 x 4 donde se realiza la remolienda en esta etapa se concentra también el oro fino y en la salida se controla la granulometría para determinar si se está realizando una buena molienda.



Figura 14. Remolienda, molino 3x4

Fuente: Elaboración propia.

Concentración gravimétrica. Este proceso se realiza con las canaletas y alfombras, la pulpa de la remolienda sale hacia una caja de metal en donde se agrega agua para que haya una mejor concentración, esta pulpa pasa por las canaletas que tienen alfombras y están colocados con una inclinación determinada, el concentrado se queda en

las alfombras por la diferencia de peso las alfombras son sacudidas cada cierto tiempo en unos recipientes para extraer el concentrado que se almacenan en sacos para su posterior amalgamación.



Figura 15. Canaletas gemelas con alfombra

Fuente: Elaboración propia.

3.8.5. Amalgamación

El concentrado q se obtiene de las alfombras es amalgamado en un molino de 2x2 en donde se agrega mercurio, cal, detergente y se obtiene la amalgama Hg-Au, esta amalgama se refoga para obtener el metal valioso oro.

3.8.6. Producción

La producción de oro de realiza cada 15 días con el desenchquetado de los molinos, los molinos en su interior tienen chaquetas de fierro de media y una pulgada esto para evitar el desgaste del tambor, estas chaquetas están colocados guardando un espacio entre sí de media pulgada dentro del cual se concentra la amalgama oro-mercurio, para sacar el oro de los molinos se tiende un jebe en el piso y se descargan las billas y pulpa del molino luego se desempernan las chaquetas y se saca para lavar el molino y las

chaquetas el oro queda en el jebe tendido, de esta manera se realiza el desenchquetado, el oro que se obtiene se suma con el oro que se obtiene del concentrado de las alfombras y se obtiene la producción total de la campaña.



Figura 16. Desenchquetado

Fuente: Elaboración propia.

3.8.7. Muestreo

Las muestras se realizan en diferentes lugares del circuito es muy importante para obtener datos y determinar ciertos parámetros que nos ayudan a mejorar el proceso en la planta.

La primera muestra se realiza en la faja transportadora que alimenta de mineral al molino 4x4 molienda primaria esta muestra se realiza para determinar el tonelaje de mineral que está ingresando y la ley de cabeza.

La segunda muestra se realiza en la salida del molino 3x4 remolienda en este punto se realiza el muestreo para determinar la densidad de pulpa que debe de estar en un promedio de 1700 y también la granulometría de la pulpa

La tercera muestra se toma al final de las canaletas en el relave con la finalidad de determinar el porcentaje de recuperación.



Figura 17. Muestreo de faja alimentadora de molino

Fuente: Elaboración propia.

3.8.8. Diagrama de flujo de la planta

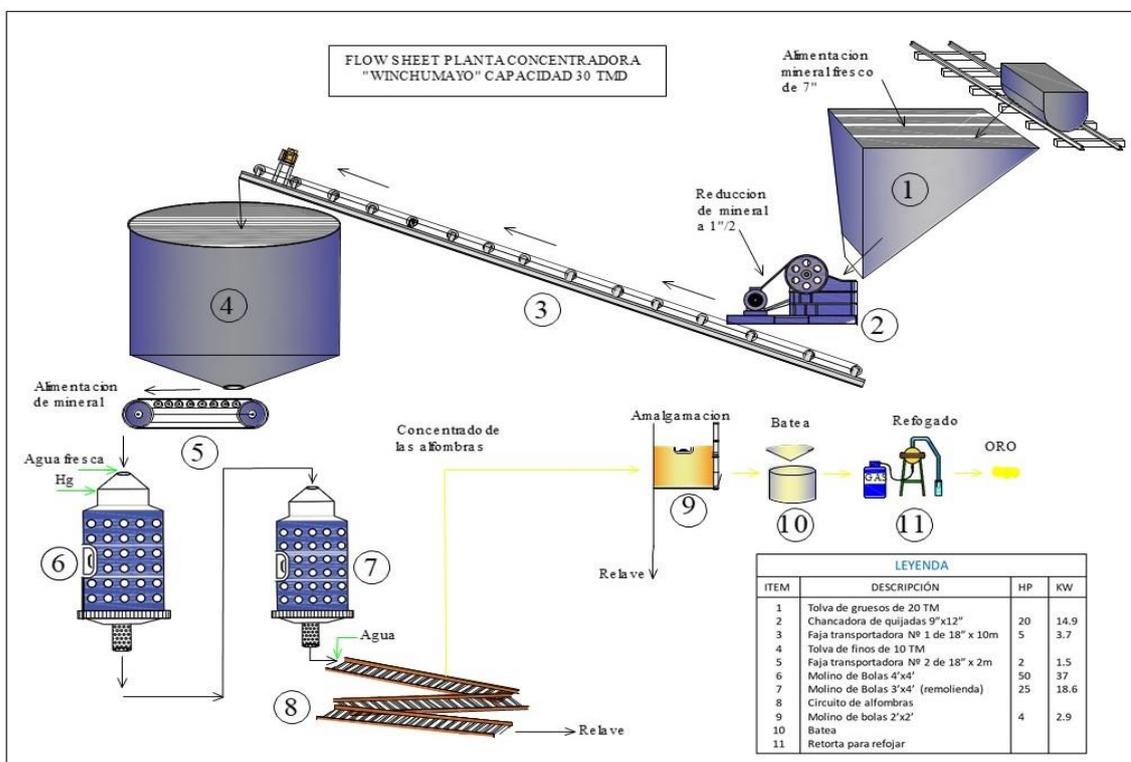


Figura 18. Diagrama de flujo de la planta

Fuente: Elaboración propia.



3.8.9. Registro de tonelaje y producción con los molinos continuos

El registro del tonelaje tratado y la recuperación de oro se detalla en las siguientes tablas, los datos obtenidos son de 15 días de trabajo (01 campaña) estos datos son el resumen de los reportes diarios de planta y análisis de minerales en laboratorio particular. Ver (anexo D, E)

Tabla 8. Registro del tonelaje y producción de los molinos continuos

REGISTRO PLANTA - MINA WINCHUMAYO											
Responsable: Marco A Arias Ochoa						FECHA: del 01 al 15 de Marzo					
FECHA	TONELAJE TRATADO				TOTAL Ton/Dia	LEY (g/TM)	CABEZA RELAVE	PRODUCCIÓN % Recup	(Au) Prom (g)	Hg (g)	Hg recuperado (g)
	TMH Ton/hora	%H	TMS Ton/hora	Operacion Horas							
01/03/2021	1,041	10,5	0,932	24	22,36	14,5	6,38	56	181,56	700	350
02/03/2021	1,113	10,5	0,996	24	23,90	14,5	6,38	56	194,06	300	150
03/03/2021	1,080	10,5	0,967	24	23,20	14,5	6,38	56	188,38	300	150
04/03/2021	0,989	10,5	0,885	24	21,24	14,5	6,38	56	172,46	300	150
05/03/2021	0,999	10,5	0,894	24	21,45	14,5	6,38	56	174,17	300	150
06/03/2021	0,957	10,5	0,857	24	20,56	14,5	6,38	56	166,94	300	150
07/03/2021	1,077	11	0,958	22	20,07	14,5	6,38	56	162,96	300	150
08/03/2021	1,027	10	0,924	24	22,17	14,5	6,38	56	180,02	300	150
09/03/2021	1,084	10	0,975	24	23,40	14,5	6,38	56	190,00	300	150
10/03/2021	1,065	10	0,958	24	22,99	14,5	6,38	56	186,67	300	150
11/03/2021	1,010	10	0,909	24	21,81	14,5	6,38	56	177,09	300	150
12/03/2021	1,033	10	0,929	24	22,29	14,5	6,38	56	180,99	200	100
13/03/2021	1,023	10	0,921	24	22,10	14,5	6,38	56	179,45	200	100
14/03/2021	0,955	10	0,859	24	20,61	14,5	6,38	56	167,35	200	100
15/03/2021	1,188	10	0,912	24	21,88	14,5	6,38	56	177,66	200	100
TOTAL GENERAL				358	330				2679,8	4500	2250

Fuente: Reporte diario de planta.



3.8.10. Amalgamación del concentrado

El concentrado se obtiene de las alfombras, la pulpa que sale de la remolienda del molino 3x4 pasa por un circuito de alfombras gemelas en donde se atrapa el oro más fino, estas alfombras se sacuden cada cierto tiempo y se obtiene un concentrado a razón de 5 baldes que son 200 kilos aproximadamente en 24 horas de trabajo, este concentrado se amalgama en un molino de 2x2 agregando 5 baldes de concentrado, 100 gramos de mercurio, una bolsita de 140 g de detergente y cal, se amalgama durante 2 horas después se realiza el saque, se batea y obtiene la amalgama mercurio – oro el cual es refogado y se obtiene el oro para su comercialización, en este proceso se recupera el total de mercurio 100 gramos debido a que el concentrado contiene mercurio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de la implementación de los molinos continuos es para mejorar el procesamiento de minerales y reducir el costo de producción en las plantas concentradoras que se tienen en las minas de la zona de Muccumayo, esta mejora se realizó aumentando la capacidad de producción del mineral y el porcentaje de recuperación de oro, esto se logró mecanizando el proceso mediante la implementación de los molinos continuos.

Los datos que se obtuvieron en la planta concentradora tanto con los molinos tradicionales y los molinos continuos fueron el resultado de una campaña de trabajo que duro 15 días, en el cual se realizó trabajos de molienda, concentración y recuperación del metal valioso, estos datos han sido comparados y de esta manera se pudo determinar cuál es la capacidad de producción y porcentaje de recuperación que se obtiene procesando estos minerales con los molinos continuos.

4.1. RESULTADO DEL COSTO DE LOS EQUIPOS

Tabla 9. Resultado de costos de los molinos

MOLINOS CONTINUOS		MOLINOS TRADICIONALES	
Costo total S/	375,200.00	Costo total S/	92,500.00

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia de costos entre los molinos continuos y molinos tradicionales con sus respectivos accesorios listos para su funcionamiento es de 282,700.00 S/, los molinos continuos tienen un mayor precio que los molinos tradicionales, ver (tabla Nro. 03,06)

4.2. RESULTADO DE LA FUERZA LABORAL

En la siguiente tabla se observa la diferencia de personal que se existe para procesar el mineral con ambos molinos, como también la diferencia de pagos al personal.

Tabla 10. Diferencia de personal para procesar mineral con ambos molinos

MOLINOS CONTINUOS		MOLINOS TRADICIONALES	
Total personal	11	Total personal	38
Salario quincenal S/	11,500.00	Salario quincenal S/	34,850.00

Fuente: Elaboración propia.

Existe una diferencia de 27 personales para procesar mineral con ambos molinos y a su vez una diferencia de 23350 nuevos soles en pagos al personal, ver (tabla 04,07)

4.3. RESULTADO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Tabla 11. Resultado de la capacidad de producción de los molinos

MOLINOS CONTINUOS	MOLINOS TRADICIONALES
330 TM, en 15 días de trabajo	155.25 TM, en 15 días de trabajo

Fuente: Elaboración propia.

Con los molinos continuos se procesó la cantidad de 22 TMD, y con molinos traicionales 10.35 TMD, cabe mencionar que la capacidad de los molinos continuos es de 30 TMD.

4.4. RESULTADO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN

Tabla 12. Resultado del porcentaje de recuperación de los molinos

MOLINOS CONTINUOS		MOLINOS TRADICIONALES	
Mineral procesado TM	330	Mineral procesado	155.25
Ley de Oro (g/tm)	14.5	Ley de Oro (g/tm)	16.25
Oro recuperado (g)	2679.8	Oro recuperado	1285.4
Porcentaje de recuperación (%)	56	Porcentaje de recuperación (%)	51

Fuente: Elaboración propia, ver (tabla Nro. 05,08).

4.5. RESULTADO DEL CONSUMO DE MERCURIO

En el siguiente cuadro se muestra el consumo de mercurio producto del proceso de amalgamación que se realizó con ambos molinos.

Tabla 13. Resultado del consumo de mercurio entre ambos procesos

MOLINOS CONTINUOS	MOLINOS TRADICIONALES
2.250 Kg, para procesar 330 TM de mineral	10 Kg, para procesar 155.25 TM de mineral

Fuente: Elaboración propia.

Existe una gran diferencia de consumo de mercurio para la recuperación de oro entre ambos procesos, con los molinos continuos tenemos un mejor control del consumo de mercurio para el proceso el cual nos permite también reducir la contaminación producida por mercurio, ver (tabla 5,8)

4.6. RESULTADO DEL COSTO DE OPERACIÓN EN PLANTA

Tabla 14. Resultado del costo de operación en 15 días de trabajo

EGRESOS	MOLINOS CONTINUO	MOLINOS TRADICIONALES
COSTO DE PERSONAL	S/ 11,500.00	S/ 34,850.00
ENERGÍA PLANTA	S/ 18,000.00	S/ 18,000.00
CONSUMO DE BILLAS	S/ 1,575.00	S/ 1,125.00
DESGASTE DE CHAQUETA	S/ 3,450.00	
DESGASTE DE TAMBOR		S/ 3,375.00
ALIMENTACIÓN	S/ 2,475.00	S/ 8,550.00
DEVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS	2,100.00	1,050.00
COSTOS INDIRECTOS	S/ 1000	S/ 1000
TOTAL	S/ 40,100.00	S/ 67,950.00

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 15. Resultados del costo de insumos en 15 días de trabajo

EGRESOS	MOLINOS CONTINUO	MOLINOS TRADICIONALES
MERCURIO	S/ 1,350.00	S/ 6,000.00
CAL	S/ 100	S/ 100
DETERGENTE	S/ 100	S/ 600
TOTAL	S/ 1,550.00	S/ 6,600.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Resultado del costo total para procesar mineral durante 15 días en ambos molinos

EGRESOS	MOLINOS CONTINUO	MOLINOS TRADICIONALES
COSTO TOTAL	S/ 41,650.00	S/ 74,550.00

Fuente: Elaboración propia, ver (tabla Nro. 14, 15).

Tabla 17. Resultado del costo para procesar una tonelada de mineral

MOLINOS CONTINUOS	MOLINOS TRADICIONALES
S/ 126.2	S/ 590.7

Fuente: Elaboración propia, ver (tabla Nro. 11,16).

Tabla 18. Resultado del costo para obtener 1 gr de oro en ambos molinos

MOLINOS CONTINUOS	MOLINOS TRADICIONALES
15.7 S/	57.9 S/

Fuente: Elaboración propia, ver (tabla Nro. 12, 16).



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: En el presente trabajo de investigación se implementó los molinos continuos y se mejoró el procesamiento de minerales, aumentando la capacidad de producción y el porcentaje de recuperación, asimismo se redujo el costo de operación en S/ 464.5 por tonelada de mineral procesado en las plantas concentradoras de las minas de Muccuyamo que representa un 78.6%.

SEGUNDA: se realizó el estudio técnico y la instalación de los molinos continuos logrando un incremento en la capacidad de producción de 155.25 TM con los molinos tradicionales hasta 330 TM con los continuos ambos en 15 días de proceso que consideramos una campaña.

TERCERA: como conclusión de la evaluación en la recuperación de oro con la instalación de los molinos continuos en las minas de Muccumayo se identifica un incremento del 5% más de recuperación debido a que se tiene un mejor control del proceso en comparación al procesamiento de minerales con los molinos tradicionales.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda implementar un clasificador en el área de molienda para tener un mejor control de la granulometría de la pulpa y garantizar una mejor molienda.

SEGUNDA: Seguir mejorando y optimizando el proceso en la planta continua

TERCERA: Es necesario implementar un laboratorio químico para el análisis de oro, de esta manera tendremos un mejor control del proceso

CUARTA: Mejorar el plan de manejo de relaves cumpliendo con la normativa vigente y la responsabilidad social

QUINTA: En la planta de procesos se debe tener personal estable bien capacitado de esta manera los equipos estarán monitoreados y se tendrá un buen control de la planta

SEXTA: Adquirir balanza marcy y tamices para controlar densidad y granulometría.

SÉPTIMO: Realizar un proceso mecanizado de concentración del relave para una mejor comercialización es estos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bravo, A. (2003). *Manual de molienda y clasificación Mina Casapalca*. Perú.
https://www.academia.edu/29872808/Manual_molienda_y_clasificacion_minerales
- Chura, P. (2017). *Evaluación geológica de la veta serpiente del yacimiento Mucuumayo*. Carabaya. Puno
- Cuentas, M. (2019). *Uso del mercurio en la rinconada*. Puno
- Hernández, Fernández y Baptista (2003). *Metodología de la investigación*. México
- Hurtado, D. (2018) *Diseño de planta para procesamiento de minerales de oro con alto contenido de pirita y pirrotitas Modelo Horizonte*. Arequipa
- INTERCADE. (2016). *Metalúrgica extractiva aplicada a minerales de oro y plata*. Lima
- Lima, J. C. (2018). *Proyecto de Ampliación de 30 a 60 tm/día en la Planta de Beneficio Geza Minerales Asis E.I.R.L. Rinconada*. Puno.
- Manual para la Pequeña Minería y Minería Artesanal (2008). *Dirección Regional de Energía y Minas*. Puno
- MR MINING CONSULTING. (2020). *Diseño de planta metalúrgicas*. Lima
- Paredes, J. A. (2017). *Incremento de extracción de Oro en el circuito de Molienda, Gravimetría y remolienda en la planta Marañon (Compañía Minera Poderosa S.A.)*. Trujillo.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2012).
- Sabino (1992). *El proceso de investigación*. Argentina.



Sánchez, Reyes y Mejía (2018). *Manual de términos de investigación científica, tecnológica y humanística*. Perú.

Soncco, A. (2018). *Optimización y evaluación del circuito de molienda – clasificación de la planta de beneficio de Centuri Mining Peru S.A.C.* Arequipa.

TECSUP. (2014). *Diseño de plantas hidrometalúrgicas*. Santa Anita

Valdivieso, A. L. (1999). *Concentración Gravimétrica del oro y plata*. Acapulco: XXIII Convención AIMMGM.



ANEXOS

Anexo 1. Formato para registro de datos planta continua

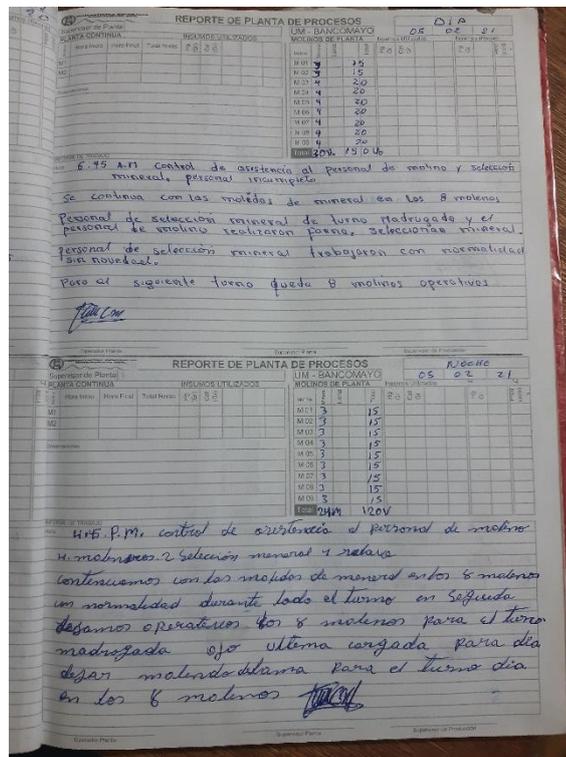
REGISTRO PLANTA – MINA WINCHUMAYO															
RESPONSABLE: Marco Antonio Arias Ochoa													SEMANA:		
FECHA	RECEPCIÓN - MINA				TONELAJE TRATADO						CABEZA		PRODUCCIÓN		INSUMOS
	N° CARROS				TOTAL	TMH Ton/hora	%H	TMS Ton/hora	OPERACIÓN Horas	TOTAL Ton/Día	LEY (g/TM)	Relave (g/TM)	% Recupera	(Au) Prom (gr)	(Gr) Mercurio
TURNO Madrú	TURNO Día	TURNO Noche	TOTAL												
TOTAL															
OCURRENCIAS DE LA OPERACIÓN Y PROCESO DURANTE LA SEMANA															

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Formato para registro de datos planta tradicional

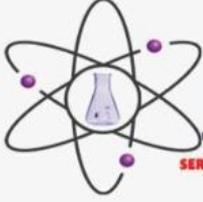
REGISTRO DEL PROCESAMIENTO DEL MINERAL DEL 01 al 15 de FEBRERO											
Num. De Mol	Cantidad de molidas (mineral)	TMD	CABEZA Ley Au	Relave	Recup %	Cantidad de molidas (amalgama)	Produce	INSUMOS			
								Hg Kg	Hg Recup Kg	Cal Kg	D Uni
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
total											

REPORTE DE GUARDIA DIARIO MOLINOS TRADICIONALES





Anexo 3. Análisis de minerales cabeza y relave molinos tradicionales



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M50-0901

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

ATENCION : Srs. CONTRATISTAS GENERALES WINCHUNMAYO E.I.R.L.

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 02

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Oro (Au) Por Reconocimiento

RECEPCION DE MUESTRAS : Bolsa Plastica

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 20/02/2021

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Código de Cliente	Au	
			Gr/Tm	Oz/Tc
1	RH-M51040	Cabeza	16.25	0.57
2	RH-M51041	Relave	7.97	0.28

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación de Oro (Au) en mineral - Método Via Seca



Gerente de Operaciones
CIP 167755

Anexo 4. Imagen de reporte de guardia diario molinos continuos

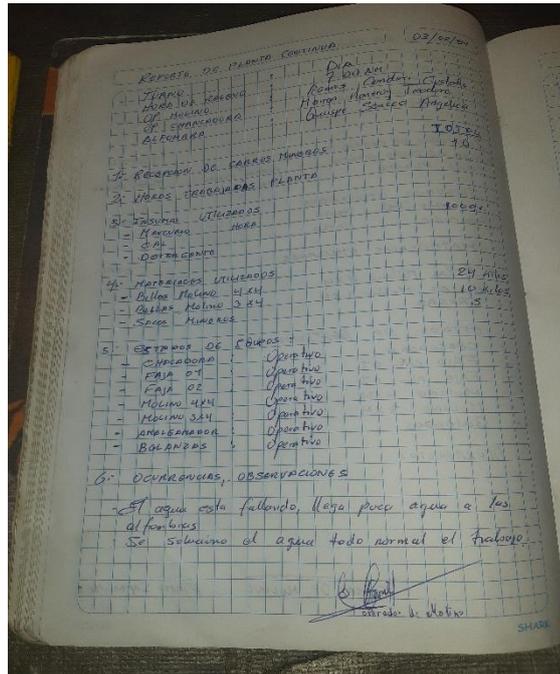
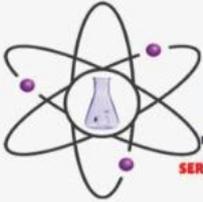


IMAGEN DE REGISTRO DE MUESTRAS DIARIAS MOLINO CONTINUO

TURNO MADRUGADOS 10 febrero 2021			Turno Noche 10-02-2021		
12:00	PM	900 gr	04:30	PM	400 gr
12:30	PM	900 gr	05:00	PM	450 gr
1:00	PM	900 gr	05:30	PM	300 gr
1:30	PM	900 gr	06:00	PM	750 gr
2:00	PM	900 gr	06:30	PM	850 gr
2:30	PM	900 gr	07:00	PM	1000 gr
3:00	PM	900 gr	07:30	PM	900 gr
3:30	PM	900 gr	08:00	PM	950 gr
4:00	PM	950 gr	08:30	PM	400 gr
4:30	PM	900 gr	09:00	PM	850 gr
5:00	PM	850 gr	10:00	PM	900 gr
5:30	PM	900 gr	10:30	PM	950 gr
6:00	PM	900 gr	11:00	PM	450 gr
6:30	PM	900 gr	11:30	PM	1000 gr
7:00	PM	900 gr			
			TURNO MADRUGADOS 11 febrero 2021		
7:30	AM	800 gr	12:00	AM	900 gr
8:00	AM	900 gr	12:30	AM	450 gr
8:30	AM	950 gr	1:00	AM	900 gr
9:00	AM	900 gr	1:30	AM	900 gr
9:30	AM	950 gr	2:00	AM	900 gr
10:00	AM	800 gr	2:30	AM	900 gr
10:30	AM	900 gr	3:00	AM	900 gr
11:00	AM	950 gr	3:30	AM	900 gr
11:30	AM	950 gr	4:00	AM	950 gr
12:00	PM	900 gr	4:30	AM	900 gr
12:30	PM	900 gr	5:00	AM	550 gr
1:00	PM	950 gr	5:30	AM	850 gr
1:30	PM	900 gr	6:00	AM	900 gr
2:00	PM	1000 gr	6:30	AM	900 gr
2:30	PM	950 gr	7:00	AM	900 gr
3:00	PM	900 gr			
3:30	PM	950 gr			
4:00	PM	900 gr			



Anexo 5. Análisis de minerales cabeza y relave molinos continuos



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M50-0901

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

ATENCION : Srs. CONTRATISTAS GENERALES WINCHUNMAYO E.I.R.L.

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 02

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Oro (Au) Por Reconocimiento

RECEPCION DE MUESTRAS : Bolsa Plastica

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 20/02/2021

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación de Oro (Au) en mineral - Método Via Seca



Gerente de Operaciones
CIP 167755

Anexo 6. Imagen de los molinos tradicionales



Anexo 7. Imagen actual de los molinos continuos en operación



Anexo 8. Imagen actual de molino 3 x 4 instalado en otra unidad



Anexo 9. Imagen de construcción de plataforma para instalar molinos en otra unidad



Anexo 10. Imagen actual de instalación de nuevos molinos 4 x 4 y 3 x 4 en otra unidad

