

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO DE UN MOLINO DE BOLAS PARA TRITURAR
MINERAL DE BAJA LEY Y AUMENTAR LA PRODUCCIÓN
DE CONCENTRADO EN LA MINA ESPERANZA, REGIÓN
LA LIBERTAD, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Franklin Alberto Pretel Sagastegui

Asesor:

Mg. Wilson Carlos Gómez Hurtado

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso dador de vida por haberme regalado el don de la vida y
sabiduría.

A mi querida madre Charo, mis tíos Santos y Rosmari por su apoyo constante en todo mi
proceso de formación profesional, por sus sacrificios y su motivación en cada batalla,
gracias por todos los consejos bien recibidos.

A mi abuela Ela Gutiérrez Díaz que desde el cielo me cuida y es un gran ejemplo de lucha
constante y perseverancia.

AGRADECIMIENTO

De manera especial al ingeniero Wilson Gómez por su apoyo y orientaciones oportunas para la realización del presente trabajo de investigación.

A los docentes de la Universidad Privada del Norte por su dedicación en el dictado de clases, en la transmisión de conocimientos y experiencias que hoy veo volcadas en mi trabajo profesional.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. MÉTODO	16
CAPÍTULO III. RESULTADOS	18
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	31
ANEXOS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costos de Pre inversión e inversión.	19
Tabla 2: Costos operativos	19
Tabla 3: Diseño del molino de bolas	20
Tabla 4: Características del motor	21
Tabla 5: Transmisión del molino de bolas.	21
Tabla 6: Especificaciones de dientes AGMA para el piñon y engraneje.	22
Tabla 7: Cantidad de concentrado por tonelada.	26
Tabla 8: Cantidad de concentrado por peso ingresado a molino	26
Tabla 9: Costo de adquisición del molino de bolas.....	28
Tabla 10: Costo operacional mensual del molino de bolas	28
Tabla 11: Costo operacional mensual.....	29
Tabla 12: Costo por tonelada procesada en el molino de bolas	29
Tabla 13: Características del proceso de venta de mineral en planta	29
Tabla 14: Ingresos mensuales por concentrado procesado.....	30
Tabla 15: Utilidad de la producción y venta de concentrado	30
Tabla 16: Peso de las bolas de acero	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de almacenamiento de agua	18
Figura 2: Ubicación de la poza para el almacenamiento de agua.....	23
Figura 3: Ubicación de molino de bolas – coordenadas UTM	23
Figura 4: Dimensiones del área donde se ubicará el molino de bolas.....	24
Figura 5: Plano de vista de planta.....	24
Figura 6: Plano de vista de perfil.....	25
Figura 7: Plano de vista de planta del molino de bolas y sistema de transmisión.....	25
Figura 8: Flujograma de procesamiento de mineral de baja ley.....	27
Figura 9: Mapa Geológico de Mina Esperanza	41
Figura 10: Mapeo de alteración hidrotermal y mineralización.....	42
Figura 11: Mineral de alta ley – Mina Esperanza.....	50
Figura 12: Veta Galleta – Mina Esperanza.....	50
Figura 13: Preparación de mineral de alta ley	51
Figura 14: Acumulación de mineral de baja ley.....	51
Figura 15: Comparación de mineral de baja ley y concentrado	52

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado en la mina Esperanza, puesto que se identificó una problemática vinculada con la falta de gestión para el mineral de baja ley. La muestra estuvo constituida por el mineral con presencia de óxidos de fierro y piritización. Para realizar el procesamiento de información se trabajó un enfoque mixto, de tipo no experimental, en cuanto a las técnicas se empleó el análisis documental y la observación directa. Los resultados indican que el molino de bolas tendrá unas dimensiones de 1,35 m de diámetro por 1,35 m de longitud, procesará 3360 T/año de mineral, teniendo una producción de 1,1 T/hora con un tiempo de trabajo de 10 horas diarias, generando 38 T/mes de concentrado. Concluyendo que el molino, es capaz de aumentar la producción de concentrado, amortiguando los costos operativos mensuales y teniendo una utilidad mayor a \$ 27 000 mensuales, siendo un proyecto viable, que genera valor económico y contribuye al cuidado del medio ambiente.

Palabras claves: minería artesanal, molino de bolas, molienda, concentración gravimétrica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad que tiene gran influencia en el crecimiento económico de los países en vías de desarrollo. Esta actividad extractiva, atrae gran número de inversionista que están dispuestos a apostar por los diferentes minerales que posee un país, creando un mayor ingreso de divisas y mayores valores de exportación. Además, el alza en la cotización de los metales ha influido en el desarrollo de las bolsas mundiales (Narrea, 2018).

En la actualidad, la minería se encuentra ligada al ritmo de producción de minerales y la ley de cabeza que presenta valor económico (Valdés, Basombrío y Vera, 2019). La gran minería, usa tecnología totalmente mecanizada, teniendo una producción mucho mayor a la mediana y pequeña minería, además, explota minerales con leyes desde 7 g/T. Mientras que la minería artesanal, busca depósitos pequeños de alta ley, con leyes recuperables desde 20 g/T esto significa que, para producir 20 gramos de oro, se necesita extraer y procesar una tonelada de mena (Neil y Telmer, 2017). Los mineros artesanales extraen el mineral de alta ley de forma manual, dejando el mineral de más baja ley como relleno de mina o esperan que con el tiempo el mineral se vuelva rentable (MMSD, 2003).

Existen muchos yacimientos de minerales que son difíciles de ser explotados por la baja ley de oro que presentan, causando que varios yacimientos mineros se encuentren abandonados por no contar con un proceso adecuado (Julca y Ortiz, 2017).

En el Perú, la minería aún mantiene su forma artesanal, esta ha venido acumulándose por los altos niveles de pobreza y el incremento de la demanda de oro, ocasionando que más personas encuentren rentables las actividades mineras (Pacheco, 2020). Se calcula que al menos 25 millones de hectáreas se están explotando de manera informal e ilegal, de las cuales la mayor producción se centra en la Amazonía (León, 2020). Los mineros informales, explotan vetas de 1 cm y 10 cm de potencia, con leyes que varían de 1 a 80 Oz/T. El mineral de alta ley, es seleccionado manualmente antes de ser procesado o comercializado., en tanto,

el mineral de baja ley, muchas veces, se desecha o se utiliza como relleno, ya que no paga los costos de procesamiento y comercialización. Otras veces, el mineral de baja ley, se muele en molinos discontinuos de 200 kg a 400 kg, accionados por motores independientes, incorporando el mercurio para la recuperación y calidad del mineral (MINEM, 2020).

En la región La libertad, existen 4800 mineros informales que están desarrollando trabajos de explotación de manera artesanal (Rumbo Minero, 2018). Un claro ejemplo es la mina Quiruvilca, que agotó sus reservas y obligo a la empresa Pan American Silver a vender; siendo invadida por 2500 mineros artesanales que explotan el mineral de baja ley dejado por la mina (Saldarriaga, 2020).

La empresa Global Investment and Consulting se encuentra a cargo de la unidad minera Esperanza, esta es una mina que se dedica a la explotación de minerales auríferos, con una ley de corte de 15 g/T. El mineral de alta ley es escogido y comercializado. Por otro lado, el mineral que tiene leyes menores a 11 g/T es desechado al talud de desmonte, lo cual afecta en la producción de la unidad minera.

Es por ello, que se plantea el diseño de un molino de bolas para triturar el mineral de baja ley y usar el método por concentración gravimétrica, aumentando la ley y obteniendo ganancias.

Según Huaman (2015) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue realizar la evaluación de parámetros para diseñar un molino de bolas, desarrollo una investigación pre experimental de diseño causa y efecto, con una recolección de datos de análisis documental. Los resultados indican que al estudiar diferentes estudios de los equipos que existen en la industria de la molienda, el autor encontró al molino de bolas como la mejor opción para concentrar mineral, además de ser un proceso limpio y con bajos costos, calculando las dimensiones del molino, el grado de llenado, el consumo de energía eléctrica y las capacidades de producción que tendrá.

Vladimir (2016) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue diseñar y construir un molino de bolas para la pulverización de arcillas en el Laboratorio de Materiales y Catálisis de la Universidad de Córdoba, desarrollo una investigación experimental. Los resultados de los ensayos con el prototipo de molino de bolas, se obtuvo que los tiempos de producción de arcilla pulverizada fueron reducidos en un 98,5% con respecto a los tiempos empleados en la producción manual realizada en el laboratorio, además aumentó la finura del material pulverizado reduciendo hasta un 59% el tamaño de partícula con respecto al material producido por el método manual, ofreciendo un análisis de partículas más amplio. Concluyendo que la aplicación del molino de bolas es una buena alternativa para reducir métodos manuales.

Chambi (2015) en su tesis de grado, cuyo objetivo fue diseñar un molino de bolas para uso industrial en la Corporación Minera Arena S.A., desarrollo una investigación descriptiva y explicativa. Los resultados indican que el diseño de molino de bolas mejora la recuperación adecuada de la mena, además con la comparación con otros molinos, el molino de bolas se identificó como la mejor opción para tratar el mineral de 3 t/hora o 50 t/hora. Concluyendo que el molino de bolas genera resultados positivos para tratar pequeñas y grandes cantidades de mineral.

En cuanto al método de concentración gravimétrica, diferentes autores apoyan la investigación, como:

Lobe (2018) en la región de Cajamarca, en su tesis de posgrado, cuyo objetivo fue determinar si la magnetita y oro libre en los suelos aluviales del C.P. Inguero pueden extraerse por el método gravimétrico, como alternativa ambiental, desarrollo una investigación descriptiva, explicativa y experimental. Los resultados indican una relación positiva entre el mineral de entrada y concentrado para el oro libre; en la magnetita encontró relaciones positivas entre el relave, concentrado y recuperación. Lo cual concluye que el método

gravimétrico resulta ser una alternativa ambiental para la extracción de oro libre y magnetita.

Además, obtuvo mediante pruebas experimentales que al utilizar el método gravimétrico se logra recuperar en el caso de oro 71,51% hasta 74,5% y magnetita desde 73,28% hasta 74,0%, lo cual es una alternativa para controlar el impacto ambiental de los suelos, al no utilizar tóxicos para la recuperación. Además, realizó un muestreo sistemático para obtener leyes del mineral y su concentrado, dando que la ley de entrada para el oro libre fue de 0,40 g/t, y la concentración promedio del proceso gravimétrico en oro libre resultó en 9,9 g/t.

Chaucayanqui (2012) en el departamento de Arequipa, en su tesis de posgrado, cuyo objetivo fue proponer un modelo de planta piloto de 25 TMD para recuperación del oro de la pequeña minería y así minimizar impactos ambientales, desarrollo una investigación descriptiva, no experimental. Los resultados indican, que al tomar una muestra de mineral con 77,87 g Au/TM, las pruebas de concentración gravimétrica que fueron realizadas vía Falcón y Jig, ambas con 5 Kg de mineral fresco. Los análisis químicos, usando el método por concentración gravimétrica, observaron una ley en el concentrado de 830,7 g Au/TM presentando una recuperación de 57,97% y el método de absorción atómica para el análisis de la plata, evidencio una ley de concentrado de 469 g Au/TM y 21,76% de recuperación. En el caso del Jig, la ley de concentrado evidencio 190,4 g Au/TM de oro con recuperación de 50,87% y una ley de 102 g Ag/TM con una recuperación de 19,54%.

Hinojosa (2017) en la región de Puno, en su tesis de grado, cuyo objetivo fue desarrollar un diseño de un molino de bolas horizontal, aplicado a una planta concentradora haciendo uso de software CAD especializado y realizar una adecuada simulación del mismo, desarrollando una investigación no experimental. Las conclusiones indican, que se tomaron las fórmulas mediante el método de bond, llevando a diseñar un molino de bolas con un diámetro de 2 m y una longitud de 5 m el cual tendrá una capacidad de 15 toneladas por hora, luego se realizó la simulación del molino en el software, teniendo resultados positivos

para el procesamiento del mineral, permitiendo hallar los desplazamientos, obteniendo resultados de buena calidad, quedando la posibilidad de realizar mejoras en cuanto a la modelación y distribución de la carga del molino.

Monteza, Valdivia y De la Cruz (2020) en la región Cajamarca, es su tesis de grado, cuyo objetivo fue realizar un análisis de la recuperación de oro aluvial mediante el método de concentración gravimétrica en minería artesanal Algamarca, desarrollando una investigación no experimental. Los resultados indican que el método por concentración gravimétrica ha mejorado en las operaciones mineras, es decir, ha aumentado las leyes de mineral y muchos mineros artesanales hacen uso de este método. Concluyendo que el método de concentración gravimétrica es un método limpio para la concentración de mineral, ya que trabaja con las densidades según el tipo de mineral a concentrar, teniendo comentarios positivos por los trabajadores de la mina y los pobladores del centro poblado de Algamarca.

Vilcapoma y Chávez (2012) en la región de Cuzco, en su tesis de grado, cuyo objetivo fue emplear el concentrador Falcón a través de pruebas experimentales a nivel de laboratorio, haciendo un tratamiento por concentración gravimétrica a los minerales de oro de la mina "Caselita". Los resultados indican que la recuperación de mineral en las pruebas metalúrgicas hechas en el concentrador Falcón, tuvieron una recuperación de 76% hasta 79%, mediciones aceptables para la concentración de mineral. Además, los relaves provenientes de la concentración gravimétrica fueron llevados a una etapa de flotación donde la recuperación fue hasta un 58%.

Navarro (2017) en la región de Puno, en su tesis de pregrado, cuyo objetivo fue estudiar la recuperación de oro aluvial mediante gravimetría usando el concentrador centrífugos Falcón. Los resultados confirman que la utilización gravimetría es una alternativa ambiental y mediante el concentrador Falcon se pueden tener recuperaciones de 44,96% hasta 64,43%

Revisando diferentes bases teóricas que ayuden a nuestro trabajo de investigación, encontramos la siguiente información.

Durante las últimas décadas se han desarrollado las tecnologías de chancado, basadas en la reducción de diferentes minerales, la reducción de tamaño del mineral es crucial para su posterior procesamiento. El proceso de reducción, inicia en la mina con la tronadura y la etapa siguiente es el chancado (Silva, 2019).

El proceso de chancado se concentra en romper y reducir el volumen del mineral en una serie de partículas más pequeñas, con la finalidad de obtener un material más fino. Mientras que el proceso de la molienda significa una reducción mayor de las partículas a través del uso de molinos en forma cilíndrica, a través de la molienda convencional o molienda SAG, donde se usan bolas de acero de diversos tamaños para moler el mineral (Rumbo Minero, 2018). La molienda se divide en dos etapas; la primera es fraccionar los sólidos de gran tamaño, utilizando un molino de mandíbulas, permitiendo reducir las rocas grandes con mayor dureza a un tamaño definido para el siguiente proceso (Martínez, 2011). La segunda, es la reducción a un tamaño más fino, llegando a dar resultados de materiales finos, para esto el molino más empleado es el molino de bolas, al girar constantemente, provoca que las bolas de acero caigan en cascada y pulverice el mineral, además, ayuda a un buen mezclado del material (Alcántara, 2008).

Los molinos de bolas, se usan para reducir el tamaño o triturar materiales en vía húmeda o seca. Además, tienen gran resistencia para que todo el material reciba un tratamiento uniforme. (Mosquera, 2021). La fragmentación del mineral se realiza por la rotación y choque de las bolas de acero. Los molinos pueden trabajar de forma discontinua, cuando el molino se recarga de material y se cierra para hacerlo girar y luego se abre para separar el mineral de las bolas de aceros, o en forma continua, cuando el molino se alimenta por un

extremo y simultáneamente se va descargando el mineral molino por el otro extremo (Martínez, 2011).

Los molinos de bolas son muy utilizados en la minería artesanal, para el procesamiento del mineral de baja ley, se suelen utilizar molinos de 220 kg a 450 kg de capacidad y son puestos en marcha mediante motores de combustión o acoplados al eje de tracción de alguna maquinaria. Un molino de bolas, polvoriza una carga de 400 kg a 450 Kg de mineral en hora y media, este tiempo es suficiente para que el mineral obtenga una granulometría fina (Aramburú, 2015).

Finalmente, el mineral molino pasa a concentrarse por gravimétrica, que consta de separar dos o más tipos de minerales de diferente peso específico, gracias al movimiento relativo de un medio acuoso. La concentración gravimétrica, es muy utilizada en minería, es una técnica que no contamina el medio ambiente, ya que no usa reactivos, solo agua y esta puede ser reciclada. Además, tiene bajos costos de operación (Rodríguez, 2007).

Ante la necesidad de conocer los beneficios que generaría el diseño de un molino de bolas para triturar mineral, con leyes menos a 11 g/T y aumentar la producción de concentrado en la unidad minera Esperanza, ubicada en la región La Libertad, resultados que respondieron a la resolución de una problemática planteada “¿De qué manera el diseño de un molino de bolas ayudará a aumentar la producción de concentrado en la Mina Esperanza, Región La Libertad, 2020?”. El presente trabajo permitirá conocer los costos operacionales de la unidad minera, el diseño del molino, la producción de concentrado y el costo beneficio que traería concentrar el mineral de baja ley. Además, ayudará a la empresa y profesionales a desarrollar mejores estrategias de gestión de mejoras para el desarrollo económico y permanencia de la actividad minera. Asimismo, ayuda a lograr una descripción técnica y representativa de cómo los mineros artesanales buscan tecnificarse, encontrando soluciones con bajos impactos ambientales y bajos costos.

Debido a ello, la presente investigación tiene como objetivo general, diseñar un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado, en la mina Esperanza, región La Libertad; para cumplir con dicho propósito general se deben desarrollar cuatro propósitos específicos los cuales son los siguientes:

- Determinar los costos operacionales de la mina Esperanza en la región La Libertad.
- Diseño de un molino de bolas para la mina Esperanza en la región La Libertad
- Calcular la cantidad de concentrado por tonelada en la molienda del mineral de baja ley.
- Realizar una evaluación económica del molino de bolas para procesar el mineral de baja ley, en la mina Esperanza, región La Libertad.

Una vez cumplidos todos los objetivos se tiene como hipótesis general que, el molino de bolas ayudará a pulverizar el mineral de baja ley, para luego concentrarlo y así poder aumentar la producción de concentrado en la mina Esperanza, región La Libertad, 2020.

Asimismo, se desarrollaron las hipótesis específicas:

- Al determinar los costos operacionales, ayudará a calcular las utilidades netas del mineral a vender.
- El diseño del molino de bolas permitirá reducir los costos de sub o sobredimensionamiento del molino.
- La cantidad de concentrado permitirá calcular los ingresos mensuales y tener un mejor control logístico.
- Al realizar la evaluación económica es posible realizar el costo/beneficio que traería el molino de bolas en la mina Esperanza.

CAPÍTULO II. MÉTODO

La investigación presentó un enfoque cuantitativo, ya que se dedica a recoger, procesar y analizar datos sobre variables previamente determinadas. Además, determina la relación entre variables que han sido medidas, lo que ayuda a la interpretación de resultados (Domínguez, 2007). Con un tipo de investigación, aplicada, busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad (Lozada, 2014). Con un nivel de profundidad descriptiva. Por otro lado, según el periodo temporal que se realiza es transversal, puesto que analiza datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo. Así mismo, la intervención del investigador es observacional y documental, y finalmente la investigación presenta un diseño no experimental.

Para el trabajo de investigación, se consideró como población al mineral de baja ley de la mina Esperanza, en la región La Libertad, a cargo de la empresa Global Investment and Consulting (GIC), mientras que, la muestra la constituyen los minerales de baja ley con presencia de Óxidos de Fierro y piritización. La técnica para la recolección de datos fue el de “análisis documental”, que permitió la recopilación de información, ampliando los conocimientos sobre el procesamiento de mineral de baja ley que sirvió para fundamentar esta investigación. Para ello se recurrió a los reportes diarios, artículos y documentos académicos, lo cual sirvió para la etapa de análisis de datos. El instrumento que se utilizó es la ficha resumen que permitió recoger datos de artículos científicos, libros, internet y otras fuentes. Asimismo, se redactó una matriz de consistencia y operacionalización de variables para enfatizar las dimensiones e indicadores y detallar la población y muestra de una manera clara, cumpliendo su función de recoger datos precisos para luego analizar.

El procedimiento para el recojo de información en los costos operacionales de la mina Esperanza, se recopiló la información referente a los gastos mensuales de la unidad minera, haciendo uso de los reportes diarios de la mina, logrando identificar el pago de la planilla, la

compra de combustible, el pago por la maquinaria que se utiliza, explosivos, entre otros.

Luego, se procesó los datos en el programa Excel y se interpretó el costo mensual que se tiene para el avance de la operación. Por otro lado, para el diseño de molino de bolas, se hizo uso de artículos científicos, tesis, internet y datos de campo, recolectando la información e identificando la característica del diseño del molino. También, para determinar la cantidad de concentrado por tonelada, se tomó una muestra de una tonelada de mineral de baja ley, haciendo uso de un molino de bolas con iguales características, y se logró calcular la cantidad de concentrado, llevando a analizar las muestras a laboratorio para obtener las leyes del mineral. Por último, se realizó la evaluación económica, con los datos de los costos mensuales y se calculó de los ingresos mensuales al procesar y concentrar el mineral de baja ley.

Los datos que se obtuvieron fueron verídicos. Se siguieron los parámetros de manera correcta según las investigaciones leídas. Además, se siguió a detalle los lineamientos de las normas APA que fue proporcionada por la universidad. La presente investigación, tiene la potencialidad de aportar conocimiento valioso para investigaciones futuras y seguir los valores éticos de inicio a fin del proyecto.

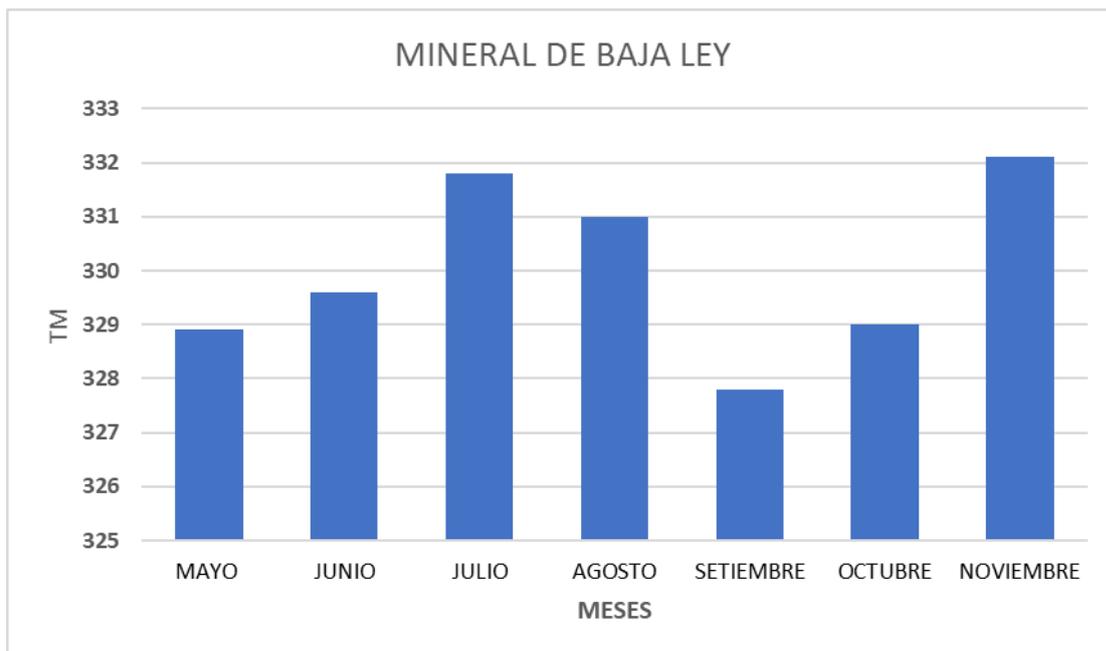
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción situacional del mineral con baja ley y costos operativos de la mina Esperanza, región La Libertad.

Entre los meses de mayo a noviembre, en la mina Esperanza se venían desarrollando la exploración y explotación de mineral, se extraían y codificaba el mineral con leyes mayores a 15 g/T. Mientras, el mineral con leyes menores a 11 g/T era trasladado a la cancha de desmante. Teniendo en cuenta la técnica que utilizaban y la geología variada que presentaba el frente de trabajo, la cantidad de mineral con leyes bajas es mucho mayor a la cantidad de mineral con leyes aceptables que se saca.

Figura 1

Cantidad de mineral con baja ley entre los meses de mayo hasta noviembre.



La figura N°1 detalla la cantidad de mineral con baja ley que ha sido extraído de las diferentes labores durante los meses de mayo hasta noviembre, teniendo en cuenta que el frente de trabajo

Tabla 1

Costos operativos

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO USD
1	Mano de obra	\$ 3949
2	Combustible	\$ 2749
3	Accesorios de perforación	\$ 1340
4	Suministros (alimentación, epps)	\$ 2257
5	Alquiler de maquinaria y equipos	\$ 1410
6	Viáticos/ otros	\$ 949
TOTAL		\$ 12 652

Nota. En la siguiente tabla se presentan los gastos generales que se realizan para llevar a cabo la operación. Entre los valores tenemos la mano de obra que representa un 31.2% del total de gastos totales; como también el combustible (21.7%), accesorios de perforación (10.6%), costo de maquinaria y equipos (11.1%) y Epps/otros (7.5%).

3.2. Diseño de un molino de bolas para la mina Esperanza en la región La Libertad.

Teniendo en cuenta la cantidad mensual de mineral con baja ley que se extrae de la mina Esperanza, se realiza el cálculo para el diseño del molino de bolas. Por lo general, el mineral es llevado a la cancha de desmonte ya que no paga los costos de preparación, transporte y comercialización. Por ello, el molino de bolas ayudará a triturar este mineral para luego ser concentrado y comercializado. Los resultados se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 2

Diseño del molino de bolas

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
Mineral de baja ley por año (330 días)	3360	T/año
Toneladas por día	11	T/día
Tiempo de trabajo de molino	10	hora/día
Producción del molino por hora	1,1	T/hora
Moliendabilidad de la roca	20	Kw-h/T
Diámetro de molino	1,35	m
Longitud de molino	1,35	m
Potencia del motor	22 – 30	kw - hp
Velocidad	36,40	rpm
Velocidad real optima	17,47	rpm
Llenado óptimo de molino	0,216	m
Diámetro de bolas de acero	5 y 8	cm
Carga total de las bolas de acero	3,13	T
Grado de llenado	38	%

NOTA. Resumen del cálculo de parámetros para el diseño del molino de bolas

Tabla 3

Características del motor

DESCRIPCIÓN	DATOS
Modelo	ZH1130
Potencia	30 hp
Dimensiones	930 x 460 x 760
Método de arranque	Manual eléctrico

NOTA. Datos característicos sacado del manual, de fabricante de la marca Jiang Yong.

Tabla 4

Transmisión del molino de bolas

DESCRIPCIÓN	DATOS
Número de dientes de engrane	156
Número de dientes de piñón	18
Relación de velocidad real	8,6
Diámetro de engrane	104 pulgadas
Diámetro de piñón	12 pulgadas

NOTA. Descripción del engranaje y piñón, Huamán (2015).

Tabla 5

Especificaciones de dientes AGMA para el piñón y engranaje

DESCRIPCIÓN	PIÑÓN	ENGRANAJE
Ángulo de presión		20° o 25°
Altura de la cabeza		0,666
Altura de raíz b		8,6
Profundidad de trabajo		1,333
Profundidad total		1,5
Espesor circular de diente		1,047
Radio del flete- cremallera básica		0,2
Holgura básica mínima		0,166
Ancho mínimo de la cresta superior		0,166
Holgura		0,233
Altura total del diente		1,49
Altura de trabajo		1,33''
Diámetro exterior	13,332''	105,33''

NOTA. Características de la transmisión del molino de bolas, por Huamán (2015).

Figura 2

Ubicación de almacenamiento de agua la concentración de mineral



Figura 3

Ubicación de la poza para el almacenamiento de agua



3.2.1. Ubicación del molino de bolas

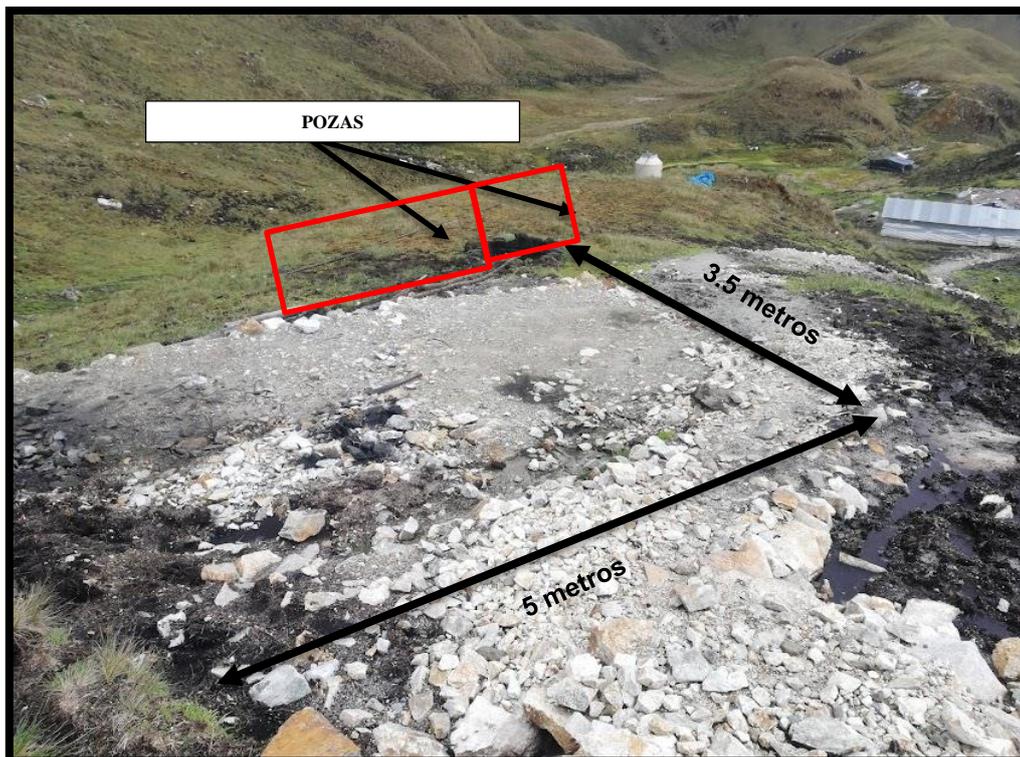
Figura 4

Ubicación de molino de bolas – coordenadas UTM



Figura 5

Dimensiones del área donde se ubicará el molino de bolas.



3.2.2. Diseño de molino de bolas:

Figura 6

Plano de vista de perfil del molino de bolas

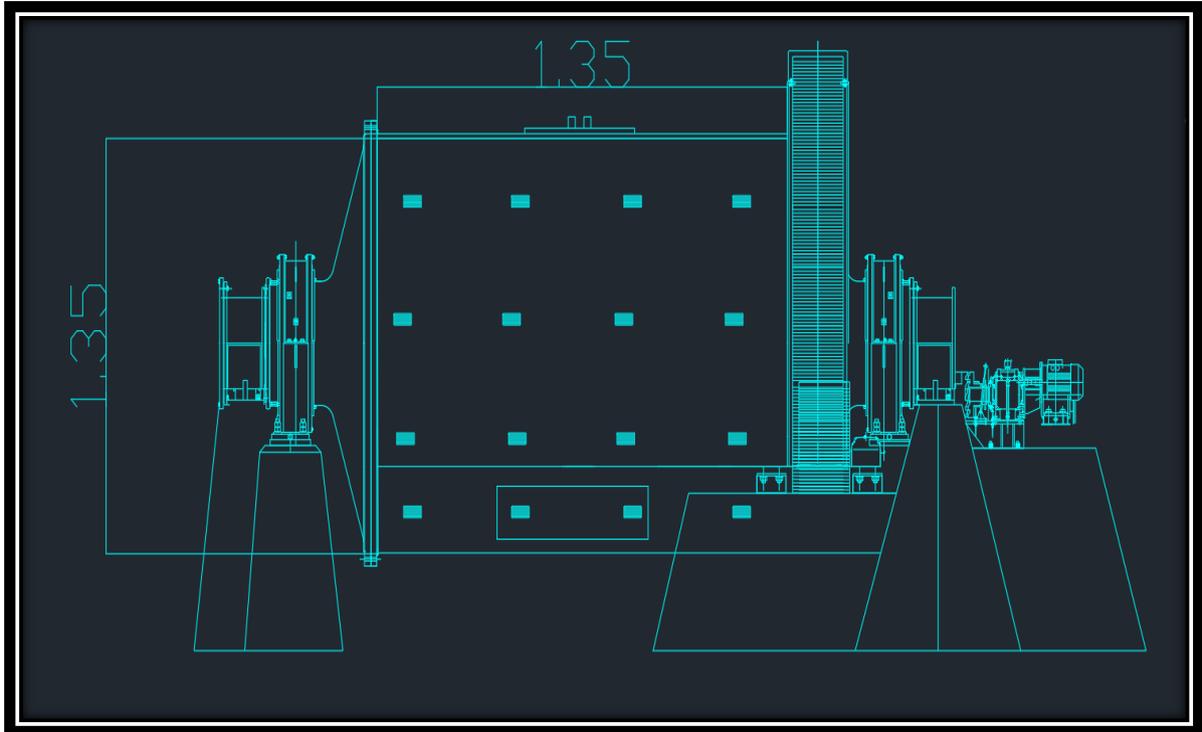
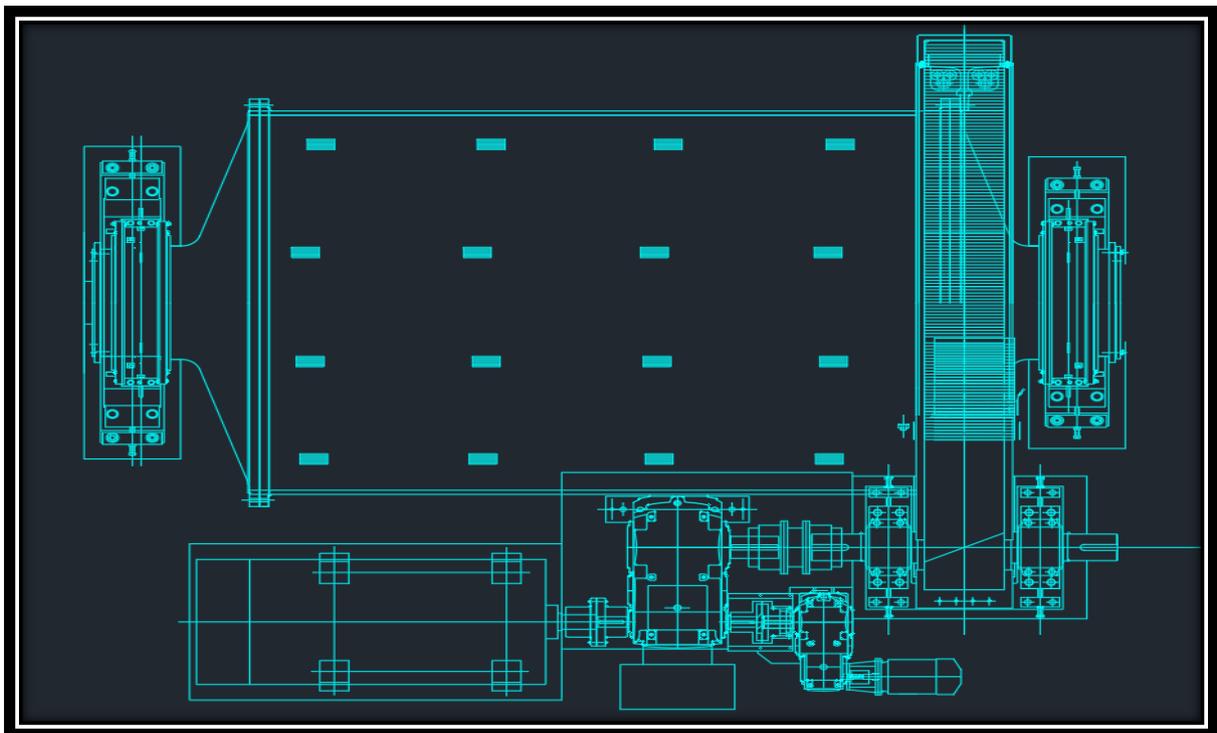


Figura 7

Plano de vista de planta del molino de bolas y sistema de transmisión



3.3. Cálculo de la cantidad de concentrado por tonelada en la molienda del mineral de baja ley

Tabla 6

Cantidad de concentrado por tonelada

Peso (TM)	Ley (g/T)	Concentrado (TM)	Ley (g/T)	Recuperación	Relave (T/día)	Precio gramo Au (USD)
1 TM de mineral de Au	8	0.12 TM concentrado	30	45%	0.88	54,84

Nota. Los datos señalan el peso de concentrado por tonelada procesada en el molino de bolas

Para nuestro caso, se detalla en la siguiente tabla

Tabla 7

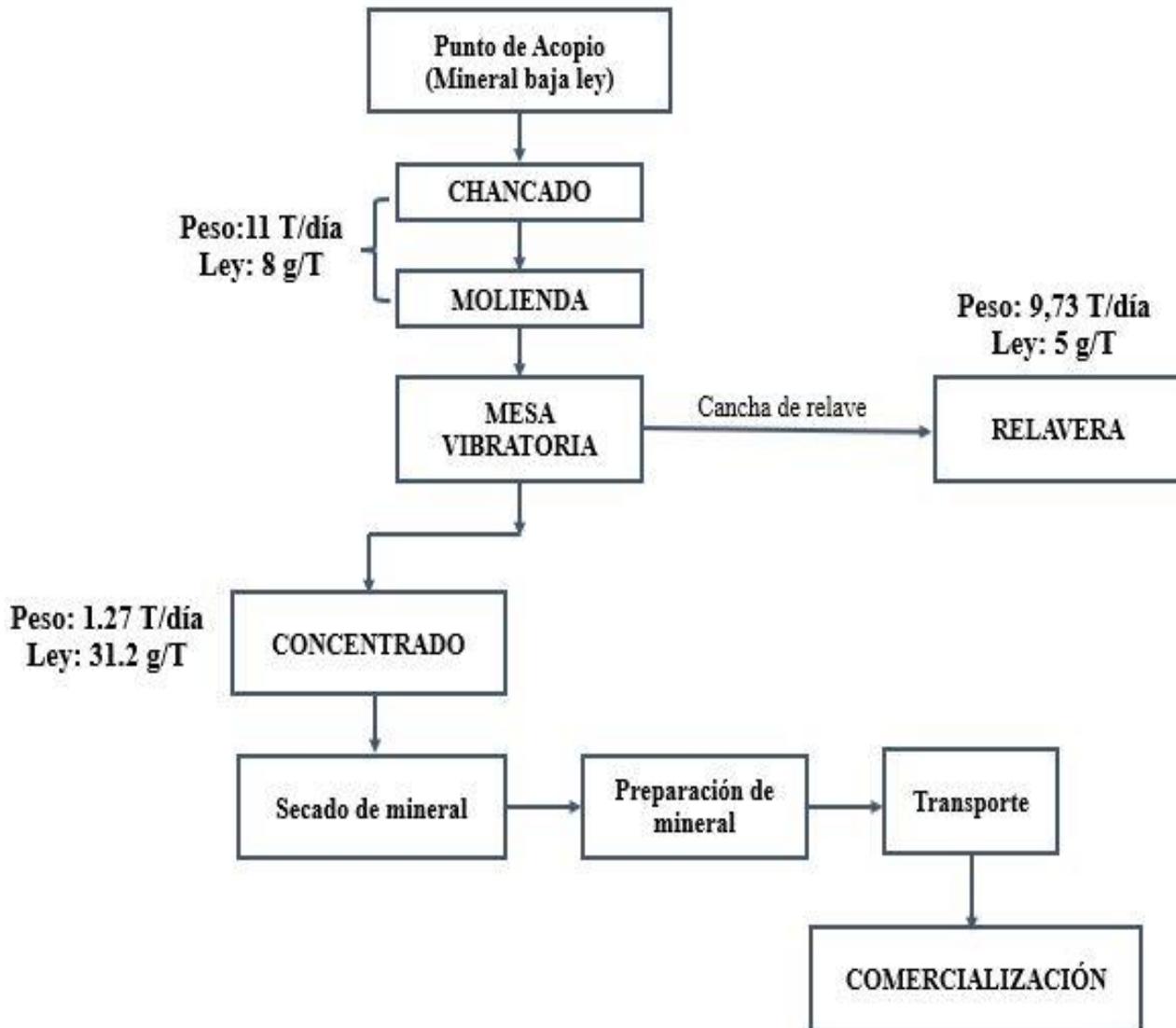
Cantidad de concentrado por peso ingresado a molino

Mineral de entrada (T/día)	Ley de entrada (g/T)	Concentrado (T/día)	Ley concentrado (g/T)	Recuperación	Relave (T/día)	Ley Relave (g/T)	Precio x gr (USD)
8	8	0,92	30	45%	7,08	5	54,84
9	8	1,04	30	45%	7,96	5	54,84
10	8	1,15	30	45%	8,85	5	54,84
11	8	1,27	30	45%	9,73	5	54,84
12	8	1,38	30	45%	10,62	5	54,84
13	8	1,50	30	45%	11,50	5	54,84
14	8	1,62	30	45%	12,38	5	54,84

NOTA. Los datos se obtuvieron de un molino con similares características. Además, se calculó mediante fórmulas (Anexo 5), para corroborar la información.

Figura 8

Flujograma de procesamiento de mineral de baja ley



3.4. Determinar el costo-beneficio del molino de bolas en la concentración de mineral de la mina Esperanza, región La Libertad.

El costo de adquisición del molino de bolas, se detalla en la siguiente tabla

Tabla 8

Costo de adquisición del molino de bolas

ITEM	DESCRIPCIÓN	Costo (S/.)	COSTO USD
1	Molino de bolas “enchaquetado”	S/ 37 000	\$ 9 487,18
5	Bolas de acero	S/ 34 430	\$ 8 828,20
2	Motor	S/ 4000	\$ 1 026,00
3	Mesa concentradora	S/ 5000	\$ 1282,00
4	Transmisión	S/ 1600	\$ 656,00
5	Instalación	S/ 1500	\$ 167,00
6	Otros accesorios	S/ 600	\$ 154,00
TOTAL			\$ 21 600,38

Tabla 9

Costo operacional mensual del molino de bolas

ELEMENTO	CANTIDAD	Costo/unidad (S/.)	COSTO USD
Mano de obra	2 personas	S/ 3000	\$ 1 894,05
Combustible	480 galones	S/ 14,60	\$ 810,81
Mantenimiento	-	S/ 134	\$ 36,22
TOTAL			\$ 2 600,51

El costo operacional total, se detalla en la tabla 11.

Tabla 10

Costo operacional mensual

COSTO MENSUAL MINA	COSTO MENSUAL	COSTO TOTAL
(USD)	MOLINO (USD)	(USD)
\$ 12 652,31	\$ 2600,51	\$ 15 252,82

El costo por tonelada procesada en el molino de bolas, se detalla en la tabla 12.

Tabla 11

Costo por tonelada procesada en el molino de bolas

COSTO	TONELAJE	TONELAJE	COSTO
OPERACIONAL	PROCESADO	PROCESADO	USD/TM
MENSUAL (USD)	(DÍA)	(MES)	
	10	300	\$ 50,84
	11	330	\$ 46,22
	12	360	\$ 42,37

NOTA. El costo operacional, está dado por el costo de operación y el costo del molino mensualmente.

Las características del proceso de venta en planta, se detalla en la tabla 13

Tabla 12

Características del proceso de venta en plantas

Concentrado	Ley	Recup.	Pagable	Precio x gr
(T/día)	concentrado			(USD)
	(g/T)			
0,92	30	80,00%	85,00%	54,84
1,04	30	80,00%	85,00%	54,84
1,15	30	80,00%	85,00%	54,84
1,27	30	80,00%	85,00%	54,84
1,38	30	80,00%	85,00%	54,84
1,50	30	80,00%	85,00%	54,84

Los ingresos mensuales de concentrado se detallan a continuación

Tabla 13

Ingresos mensuales por concentrado procesado

Concentrado (T/día)	INGRESOS (USD)					
	1 día	7 días	10 días	15 días	20 días	30 días
0,92	1 032,7	7 228,8	10 326,8	15 490,2	20 653,6	30 980,4
1,04	1 161,8	8 132,4	11 617,6	17 426,5	23 235,3	34 852,9
1,15	1 290,8	9 035,9	12 908,5	19 632,7	25 817,0	38 725,5
1,27	1 419,9	9 939,5	14 199,3	21 299,0	28 398,7	42 598,0
1,38	1 549,0	10 843,1	15 490,2	23 235,3	30 980,4	46 470,6
1,50	1 678,1	11 746,7	16 781,0	25 171,6	33 562,1	50 343,1

Nota. Determinación de ingresos semanales y mensuales.

Teniendo en cuentas los datos anteriores, se detalla el costo/beneficio del molino de bolas.

Tabla 14

Utilidad de la producción y venta de concentrado

Concentrado (T/día)	Utilidad (USD)					
	1 Dia	7 dias	10 dias	15 dias	20 dias	30 dias
0.92	524.3	3,669.8	5,242.5	10,405.9	10,485.0	15,727.6
1.04	653.3	4,573.4	6,533.4	12,342.2	13,066.7	19,600.1
1.15	782.4	5,477.0	7,824.2	14,278.5	15,648.4	23,472.7
1.27	911.5	6,380.5	9,115.1	16,214.7	18,230.1	27,345.2
1.38	1,040.6	7,284.1	10,405.9	18,151.0	20,811.8	31,217.8
1.50	1,169.7	8,187.7	11,696.8	20,087.3	23,393.5	35,090.3

NOTA. La utilidad es la ganancia neta, descontando los costos operacionales mensuales

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente trabajo consiste en diseñar un molino de bolas para triturar mineral de baja ley, con la finalidad de aumentar la producción de concentrado en la mina Esperanza. Los resultados señalan que se molera 11 toneladas de mineral por día con una ley de 8 g/T, tendrá unas dimensiones de 1,35 metros de diámetro por 1,35 de longitud; la cantidad de concentrado a sacar será de 1,37 T/día, con una ley promedio de 30 g/T, presentando una recuperación del 45%. Por lo tanto, la producción aumentará en 41,1 T/mes de concentrado, esto se debe a que se procesará 330 T/mes de mineral con una ley de 8 g/T. De esta manera, se demuestra que el diseño del molino de bolas aumenta la producción de concentrado en la mina Esperanza. Corroborándose con la investigación de Chambi (2015) en el cálculo del diseño de molino de bolas, diseñó un molino con una capacidad de 50 T/día, con dimensiones de 1,38 metros de diámetro y 3,23 metros de longitud; con el objetivo de reducir el desgaste del molino; aumentando su producción en 50 T/día llegando a procesar 16 500 T/año de mineral; sin embargo; no consideró costos del molino, ni leyes de mineral para un mejor análisis. Por otro lado, Vladimir (2016), diseñó un molino de bolas para la pulverización de arcilla, reduciendo el tiempo de preparación en un 98 %, duplicando la producción pasando de 10 g a 20 g y los tamaños de partículas de 75 a 250 micras, donde por el método manual era de 180 a 250 micras. En este sentido, se demuestra que el uso del molino de bolas aumenta la producción de concentrado; teniendo bajos costos de inversión, generando valor económico y contribuye con el medio ambiente.

Con respecto a los costos operacionales de la unidad minera, donde se tuvo un costo de preinversión e inversión de \$ 30 731,62 para el inicio de la operación y cuyos costos operativos son de \$ 12 652 mensuales, el costo de mano de obra representa un 31,2%, el costo de combustible (22%), accesorios de perforación, para la etapa de exploración y explotación (11%), el costo de suministros y alquiler de maquinaria y equipos (11,1%) y

viáticos (7.5%), respectivamente. Por lo tanto, al no considerarse el procesamiento de mineral de baja ley, los costos que se tienen son elevados y genera pérdidas para la unidad. Corroborándose con el estudio de Rojas y Zúñiga (2020), donde evidencian que la mayor demanda de costos se centra en el personal, maquinaria, insumos y tiempo con un promedio de 80% a 85%. Asimismo, enfatiza que los mayores costos en el avance de la operación, se encuentra en la limpieza, carguío y acarreo de las labores, estas corresponden en promedio al 40,87% de los costos totales, seguido de la tarea de perforación con un promedio de 22,25%, dejando al final la voladura con un 21,12% del total. Sin embargo, Lobe (2018) señala que la mayor concentración de costos en las operaciones se da en la perforación y limpieza, por el tiempo que toma y las dificultades que se presentan. En este sentido, queda demostrado que, al identificar las categorías de los costos operacionales, permite tener un mejor control logístico, determinado costos y proyectar inversiones futuras.

De acuerdo al cálculo del diseño dado, el molino de bolas procesará 11 toneladas diarias de mineral, teniendo un tiempo de trabajo de 10 horas y una producción de 1,1 toneladas de mineral por hora. Asimismo, tendrá unas dimensiones de 1,35 metros de diámetro por 1,35 metros de longitud, la carga total de bolas de acero será de 3,13 toneladas, con diámetros de 5 y 8 cm, teniendo un grado de llenado del 38%, la velocidad real optima será de 17,47 rpm. Además, el motor tendrá una potencia de 30 hp, lo requerido para hacer girar el molino. Estos parámetros permitirán determinar los costos y reducir el margen de sobre o sub dimensionamiento del molino. En el estudio realizado por Huamán (2015), demostró que el diseño del molino de bolas cumple el perfil para procesar bajos tonelajes de mineral al día, diseñando un molino con una capacidad de 52,25 T/día, teniendo una producción de 2,6125 T/hora, y dimensiones de 1,37 metros de diámetro por 3,2195 metros de longitud. También, Atuhuaman (2019) confirma al decir que el análisis de los parámetros del molino de bolas tiene una participación específica en el proceso de molienda de

minerales, considerando seis parámetros importantes como la velocidad crítica, el tamaño máximo de los elementos moledores, el volumen de carga, la potencia y el tipo de molienda. En este sentido, los parámetros analizados ayudarán a tomar mejores decisiones y disminuir los márgenes de error al implementar un molino con una evaluación previa.

Por otro lado, la cantidad de concentrado por tonelada de mineral procesado, se tuvo que, al ingresar una tonelada de mineral, con una ley de cabeza de 8g/T, se obtendría 0,12 toneladas de concentrado, teniendo una recuperación del 45%. Por lo tanto, al procesar 11 toneladas de mineral en el molino de bolas, se obtendría 1,27 toneladas de concentrado con una ley de 30 g/T. Cabe recalcar que los datos obtenidos son de un proceso convencional, la recuperación que se tiene es baja, a diferencia del estudio realizado por Lobe (2018), donde se encontró diferencias con estos resultados, utilizó el método gravimétrico, como alternativa ambiental logrando tener una recuperación de 71,51% hasta 74,5% de mineral en concentrado, además realizó un muestreo sistemático para obtener leyes de mineral y concentrado, dando que la ley de entrada para el oro libre fue de 0,40 g/T y la concentración promedio del proceso resultó en 9,9 g/T. Asimismo, Vilcapoma y Chávez (2012), también difiere con los resultados, utilizó el concentrador Falcón, para aumentar las leyes de concentrado, donde presentó resultados atractivos en la recuperación de mineral, teniendo una recuperación promedio de 76% hasta 79%; además, los relaves provenientes de la concentración gravimétrica, que fueron llevados a la etapa de flotación, tuvieron una recuperación de hasta 58%. Asimismo, Navarro (2017) donde señala recuperaciones de 44,96% hasta 64,43% utilizando el concentrador Falcon. Dado a esto, puede considerarse a la concentración gravimétrica como una alternativa limpia y eficaz para la recuperación de mineral, sin embargo, se recomienda mejores alternativas para aumentar el porcentaje de recuperación de mineral.

Por último, al determinar el costo-beneficio del molino de bolas en la concentración de mineral de la mina Esperanza, los resultados indican que la adquisición del molino de bolas tendrá un costo de \$ 21 600 y el costo operativo mensual del molino será de \$ 2600,51 mensuales; teniendo en cuenta la mano de obra, mantenimiento y la utilización de combustible mensual; además, se tomó como ejemplo las ventas de mineral hechas en campañas anteriores para ver el proceso de comercialización de concentrado, presentando una recuperación de 80% y 85% de mineral pagable; llegando a tener resultados positivos en la venta de concentrado, con una utilidad de \$ 27 345,2 mensuales, de esta manera; se demuestra que al procesar el mineral con una ley de 8g/T, se logra aumentar la producción de concentrado, generando utilidades; así mismo Chaucayanqui (2012) en su investigación señala que, para la evaluación económica es importante considerar la capacidad de tratamiento, método de recuperación, la cotización del mineral, costos operacionales y otros factores donde permitirán tener un mayor enfoque de las utilidades brutas al realizar un proyecto o conocer qué tal rentable sería aprobar el proyecto, lo que se alinea con el objetivo dado. Por lo tanto, al tener un mejor control de los costos y ganancias del molino de bolas, se podrá tener una mejor visión, al momento de la toma de decisiones.

En el desarrollo del proyecto de investigación se llegó a las siguientes conclusiones.

Se determinó la cantidad de mineral de baja ley, sacada de las diferentes labores de la mina Esperanza, presentando unos costos operativos de \$ 12 652 mensuales, teniendo los mayores gastos en el pago al personal, combustible y el uso de explosivos.

El diseño del molino de bolas en la mina Esperanza, región La Libertad, permitió conocer las dimensiones del molino, el grado de llenado, el consumo de energía y la producción diaria que tendrá.

Se logró calcular la cantidad de concentrado por tonelada ingresada al molino de bolas, obteniendo 1,27 toneladas de concentrado con una ley de 30 g/T al procesar 11 toneladas de

mineral al día con una ley de 8 g/T y una recuperación del 45% utilizando el método de concentración por gravimetría que permite recuperar el mineral sin utilizar reactivos que puedan causar daños ambientales.

El costo-beneficio del molino de bolas en la concentración de mineral de la mina Esperanza, se determinó ingresos mayores a \$ 47 000 y una utilidad de \$ 27 345,2 al mes. Logrando aumentar la producción en 38,1 T/mes de concentrado. Concluyendo que el proyecto es viable, genera valor económico y contribuye al cuidado del medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcántara, J (2008). Diseño práctico de un molino de bolas. Recuperado a partir de <https://www.yumpu.com/es/document/read/12942954/tesis-juan-ramon-alcantara-valladares-molino-de-bolaspdf>
- Aramburú, V. (2015). *Proceso innovador para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental en la minería artesanal*. Universidad Mayor de San Marcos.
- Buezo, L. (2005). *La minería artesanal de oro en el Perú vista desde un enfoque organizacional*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Castillo, I. (2018). *Técnicas alternativas para la extracción de oro sin el uso de mercurio y su potencial aplicación a pequeña escala y minería artesanal en Colombia*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Chambi, D. (2015). *Diseño de un molino de bolas para la corporación minera Ananea S.A.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Chaucayanqui, B. (2012). *Modelo de planta piloto para la recuperación del oro de la pequeña minería y minimizar los impactos ambientales*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chillcce, V; Rojas, R. (2012). *Implementación del sistema experto en molinos para optimizar la molienda del circuito de cobre en la planta concentradora de sociedad minera Cerro Verde S.A.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo
- Condori, J. (2018). *Modelo de riesgo para la evaluación económica financiera de la explotación de la veta Huascar nivel 2220 – 2296 mina Yanaquihua – Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- De la Cruz, A; Monteza, H y Valdivia, N. (2020). *Análisis de la recuperación de oro aluvial mediante el método de concentración gravimétrica en minería artesanal de Algamarca*. Universidad Cesar Vallejo.

- Dueñas, J; Gonzáles, V. (2016). *Diseño y construcción de un molino de bolas para la pulverización de arcillas en el laboratorio de Catálisis de la Universidad de Córdoba*. Universidad de Córdoba. Colombia.
- Huaman, P. (2015). *Evaluación de parámetros para el diseño de un Molino de bolas en la empresa administradora cerro S.A.C. – Pasco – 2015*. Universidad Daniel Alcides Carrión.
- Ichavautis, A. (2014). *Recuperación de mercurio y oro de las colas de amalgación en la minería*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- León, R. (2017). *Eficiencia del método ecológico sin mercurio respecto al tradicional con mercurio en la extracción de oro en minería artesanal en Ollachea – Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Loaiza, E; Zárate, H y Galloso, A. (2008). *Minería artesanal en la costa Sur Media del Perú. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. No.4, serie E*.
- Lobe, C. (2018). *Concentración de magnetita y oro libre, en los suelos aluviales de Inguro (Bellavista, Jaén, Cajamarca) por el método gravimétrico, como una alternativa ambiental*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Lozada, M. (2019). *Propuesta de concesión de beneficio para la permisibilidad de operación de una planta de cianuración en la región Lambayeque*. Universidad Cesar Vallejo.
- Monteza, Valdivia y De la Cruz (2020). *Análisis de la recuperación de oro aluvial mediante el método de concentración gravimétrica en minera artesanal de Algamarca*. Universidad Cesar Vallejo.
- Morales, R. (2015). *Sistema automatizado de molienda para la minería artesanal*. Universidad Católica del Perú.

Navarro, M. (2017). *Estudio de la recuperación de oro aluvial en concentrador falcon en la cooperativa minera Limata Ananea – Puno*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna

Rimache, R; Huaranca, D. (2020). *Diseño de una planta piloto artesanal para la obtención de cobre, evaluando los impactos medioambientales y geotécnicos de su área de influencia en Arequipa*. Universidad Tecnológica del Perú.

Rojas, C y Zúñiga, C. (2020). Análisis de costos operativos en pequeña minería y minería artesanal en Nambija. *FIGEMPA Investigación y desarrollo*, Vol. 1, No. 2, pp. 50-60.

Sandoval, F. (2001). La pequeña minería en el Ecuador. *Mining, Minerals and Sustainable Development*. No.75.

Tapara, R. (2018). *Evaluación técnica para la implementación del tratamiento de relaves mineros en tanque de agitación en el proyecto seis diamantes, la rinconada*. Universidad Nacional del Altiplano.

Vilavila, P. (2017). *Incidencia del tratamiento del mineral de baja ley basado en la teoría de opciones reales para determinar mayores márgenes de ganancia bruta anual en minera Bateas*. Universidad Nacional del Altiplano

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DISEÑO DE UN MOLINO DE BOLAS PARA PROCESAR MINERAL DE BAJA LEY Y AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO EN LA MINA ESPERANZA, REGIÓN LA LIBERTAD, 2020”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	CATEGORÍA/VARIABLE	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p style="text-align: center;">¿DE QUÉ MANERA EL DISEÑO DE UN MOLINO DE BOLAS AYUDARÁ A AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO EN LA MINA ESPERANZA, REGIÓN LA LIBERTAD, 2020?</p>	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado, en la mina Esperanza, región La Libertad. 	<p>Hipótesis General</p> <ul style="list-style-type: none"> • El molino de bolas ayudará a triturar el mineral de baja ley, para luego concentrarlo y así poder aumentar la producción de concentrado en la mina Esperanza, región La Libertad, 2020. 		<p>-Enfoque de investigación:</p> <p>Es de enfoque cuantitativo.</p> <p>-Tipo de investigación:</p> <p>Es una investigación Aplicada.</p>	<p>Población</p> <p>La población la constituye el mineral de baja ley en la mina Esperanza, región La Libertad.</p>
	<p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descripción situacional del mineral con baja ley y costos operativos de la mina Esperanza, región La Libertad. • Diseño de un molino de bolas para la mina Esperanza en la región La Libertad. • Calcular la cantidad de concentrado por tonelada en la molienda del mineral de baja ley. • Determinar el costo-beneficio del molino de bolas en la concentración de mineral de la mina Esperanza, región La Libertad. 	<p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al determinar la cantidad de mineral sacado al mes y los costos operacionales, ayudará a calcular las utilidades netas del mineral vendido. • El diseño del molino de bolas permitirá reducir costos de sub o sobredimensionamiento del molino. • La cantidad de concentrado permitirá calcular los ingresos mensuales y tener un mejor control logístico. • Al realizar el costo-beneficio del molino, es posible identificar las utilidades netas que generará el concentrar el mineral de baja ley. 	<p style="text-align: center;">Variable 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Producción de concentrado. <p style="text-align: center;">Variable 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del molino de bolas. 	<p>-Planificación de investigación:</p> <p>Investigación Descriptiva.</p> <p>-Según el número de mediciones en un determinado tiempo:</p> <p>Investigación Transversal.</p> <p>-Según la intervención del investigador:</p> <p>Investigación documental.</p> <p>-Diseño de investigación:</p> <p>Investigación no experimental.</p> <p>-Técnica:</p> <p>Análisis documental.</p> <p>-Instrumento</p> <p>Ficha resumen.</p>	<hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p>Muestra</p> <p>La constituye el mineral de baja ley con presencia de óxidos de hierro y piritización.</p>

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE 1	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Producción de concentrado	Producto de un mineral, donde se eleva la concentración de las leyes, mediante el uso de quipos o instrumentos de separación, con el fin de generar una corriente enriquecida de un mineral de interés (Bustamante, Gaviria y Restrepo, 2008).	Al conocer la cantidad de concentrado por día y las leyes que posee, permitirá tener un mejor control del concentrado sacado y ayudará a identificar la producción mensual y el costo beneficio del procesamiento.	Cantidad de concentrado Leyes de mineral	Toneladas por día (T/d). Gramos por tonelada (g/T).
VARIABLE 2	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Diseño de molino de bolas	Equipo que sirve para reducir el tamaño del mineral por vía húmeda o seca. Además, tienen gran resistencia para que todo el mineral se mueva uniformemente. (Mosquera, 2021).	El diseño del molino de bolas se realiza mediante cálculos y formulas, donde intervendrá la cantidad de material a procesar por día, las horas de producción, entre otros.	Capacidad Dimensiones Potencia Velocidad Crítica Velocidad real optima Grado de llenado Tiempo de trabajo	T/h - mineral Diámetro y longitud HP rpm rpm % Hora/día

ANEXO 3

Figura 9

Mapa Geológico de Mina Esperanza

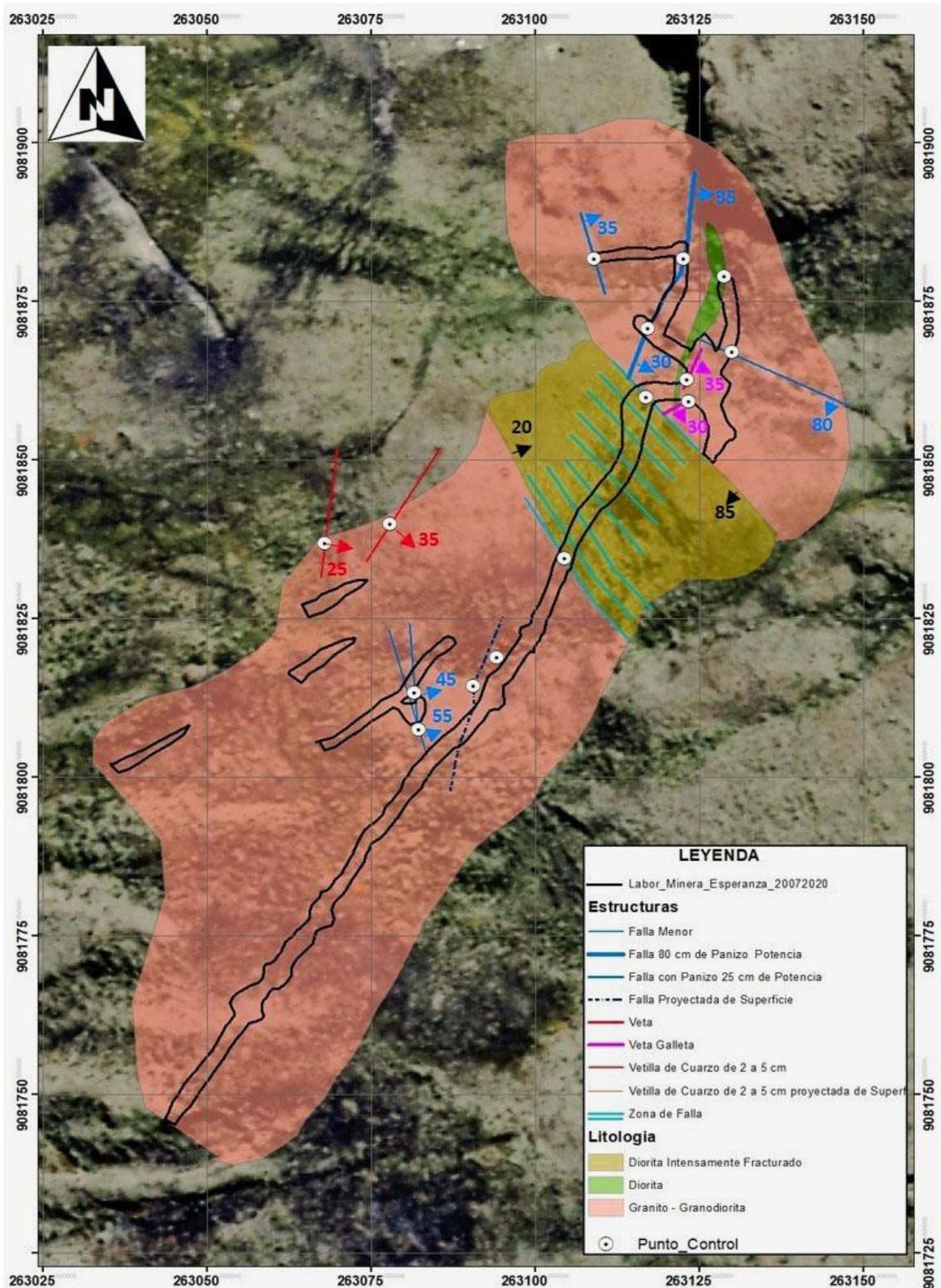
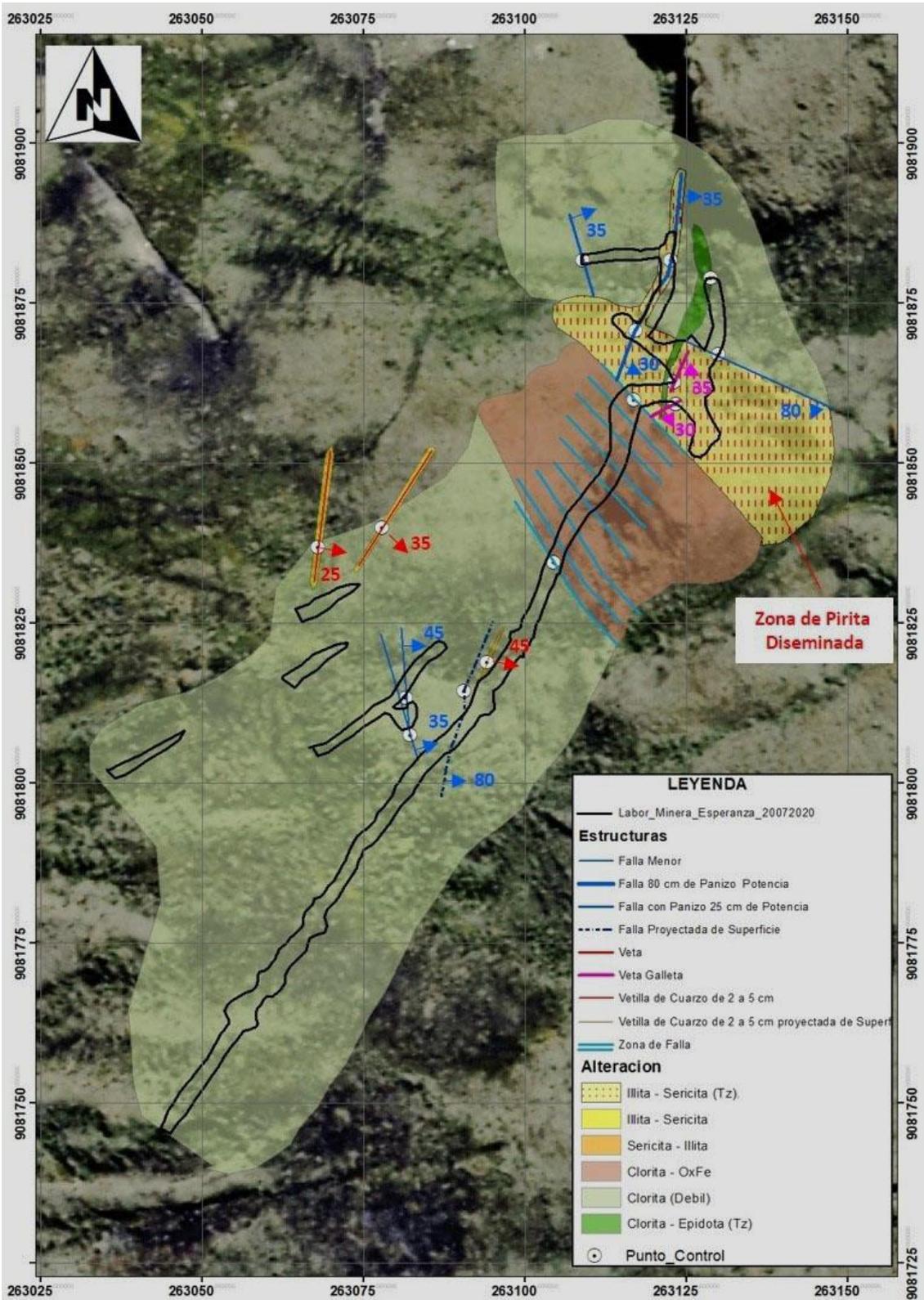


Figura 10

Maapeo de alteración hidrotermal y mineralización



ANEXO 4: CALCULO DEL DISEÑO DE MOLINO DE BOLAS

a) Cálculo de Capacidad:

Datos básicos:

Cantidad de mineral de baja ley: 3300 toneladas por año.

Capacidad del molino: Considerando 330 días por año, tenemos:

$$\frac{3300 \text{ toneladas}}{330 \text{ días}} = 10 \text{ T/día}$$

El molino de bolas, procesará 10 toneladas de mineral de baja ley por día, lo que conlleva a procesar 3300 toneladas de baja ley en un año. Se le da un 10% de producción extra, esto nos da lo siguiente:

$$10 \times 10\% = 1 \text{ tonelada}$$

Sumando la cantidad de mineral por día y el 10% de producción extra, nos da:

$$10 + 1 = 11 \text{ T/día}$$

Teniendo una producción anual:

$$11 \times 330 = 3630 \text{ T/año}$$

El tiempo de trabajo del molino será de 10 horas diarias. Lo que da:

$$330 \times 10 \text{ hr} = 3300 \text{ horas al año.}$$

Producción del molino por hora:

$$\frac{TM \text{ mineral al año}}{hr \text{ al año}} = \frac{3630}{3300} = 1,1 \text{ T/hr}$$

Como se tiene un mineral de matriz cuarzosa se considera 20 kw-h/t. Este dato se considera como referencia del consumo total de la energía por otros molinos semejantes en la industria.

b) Cálculo de Potencia del motor:

$$\text{Potencia del motor del molino} = 20 \text{ kw} - h/t \times 1,1 \text{ t/hr} = 22 \text{ kw}$$

Usando un Factor de Seguridad = 1,3410

$$\text{Potencia del motor} = 22 \text{ kw} \times 1,3410 = 29,502 \text{ HP} \sim 30 \text{ HP}$$

Al considerar la potencia del motor se tomará un motor semejante a las características dadas

Por lo que consideraremos un motor con las siguientes características:

MODELO	ZH1130
POTENCIA	30 HP ~ 22 Kw
PESO	200 kg
DIMENSIONES	930 x 460 x 760
MÉTODO DE ARRANQUE	Manual o eléctrico

c) Dimensionamiento de molino:

Usando la expresión de DAWN: kw netos: 0,284 DAWN.

La expresión kw netos viene a estar dada por la potencia requerida solo por el molino, sin considerar las pérdidas en el motor y en la transmisión.

Donde:

D = Diámetro del molino, dentro del emplacado (m).

A = (1,073), fracción de carga del volumen con el paso de los años. Sustituyendo estos valores en la fórmula:

$$\text{Kw netos} = 0,284 D (1,073 - J)WN$$

Para las dimensiones del molino, los parámetros deben ser expresados en términos de “D”.

d) Cálculo de velocidad del molino:

La velocidad del molino normalmente se calcula como un porcentaje de la velocidad crítica (N_c), la cual se define como la velocidad en la que la carga de bola empieza a centrifugar.

La velocidad crítica se puede calcular como una función del diámetro del molino.

$$N_c = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad \text{factor: } 42,30$$

El rango a considerar para la velocidad del molino varía entre 70 y 80 % de la velocidad crítica por lo que tomando la expresión.

$$N = 75 \% N_c = \frac{31,65}{\sqrt{D}} \quad \text{tomaremos: } 75 \% \quad \text{factor: } 31,65$$

La forma del molino de bolas se expresa en términos de la relación longitud a diámetro L/D, usando la longitud efectiva del molino y el diámetro dentro del emplacado para efecto de cálculo, por lo que tomaremos una relación de 1,00:1

e) Volumen de carga y peso de la bola:

El volumen del molino depende del tipo del molino que se incorporará a la unidad. Este cálculo permitirá conocer el tamaño del molino y el volumen de carga necesario para usar la potencia requerida.

Para el tamaño del molino se selecciona un valor para el volumen de carga (J). Según los datos recaudados un valor del 28% es aceptable, ya que se ha comprobado que más de 30% pierde eficiencia.

Para hallar el peso de la bola, será el producto del volumen del molino, con el volumen de carga y la densidad de la bola. Entonces:

Peso de la bola(w) = volumen del molino x J x densidad de la bola

La densidad convencional usada para la bola será de 4,48 tn/m³.

$$W = \frac{\pi}{4} D^2 \times 1 \times D \times 0,28 \times 4,48$$

$$W = 1 D^3 \text{ tonelada}$$

La potencia de entrada del molino serán los kw netos y esta se calcula a partir de la potencia a la entrada del motor incluyendo perdidas en el motor de transmisión.

Si este no se tuviera, un factor para convertir potencia de alto (gross) a neto es de 0,9.

Entonces:

$$\text{kw netos} = 0,9 \times 30 \times 0,746 = 21 \text{ kw.}$$

Factor en % 30

Factor 0,746

$$\text{kw}_{\text{netos}} = 0,284 D (1,073 - J) W_N$$

$$\text{kw}_{\text{netos}} = 0,284 D (1,073 - 0,28) 1 D^3 \times \frac{31,65}{\sqrt{D}}$$

$$20 = 7,1D^{3.5}$$

$$D = 1,35 \text{ metros}$$

El diámetro entre paredes es de 1,5 m. Dejando 65 mm, como espesor del emplacado en cada pared.

Para tener la longitud del molino de relación L/D: 1,00. Teniendo:

$$\text{Longitud} = 1,35 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = 1,35 \text{ m}$$

$$N = \frac{31,65}{\sqrt{D}} = \frac{31,65}{\sqrt{1,35}} = 27,24 \text{ rpm}$$

Teniendo el valor de D:

$$\text{kw}_{\text{netos}} = 0,284 \times 1,4 (1,073 - 0,28) 1 \times 1,40^3 \times \frac{31,65}{\sqrt{1,40}} = 21 \text{ kw netos}$$

El cuál sería la energía consumida por el molino

Por causas de pérdida en el motor, cojinetes y reductor se sugiere un 5% kw, por lo que queda 1,05 kw. De donde los kw bruto será 22,05 kw, en HP daría 29,6 HP lo cual concuerda con el cálculo.

f) Velocidad Crítica de rotación

Es aquella en la que la fuerza centrífuga anula la influencia que la gravedad opera sobre las bolas que caen y, por lo tanto, no prestan ningún servicio de molienda (Champi, 2015).

La velocidad crítica está dada por la formula

$$n = \frac{k}{\sqrt{D}}$$

D: Diámetro libre del molino: 1,35 m

El valor de k es: 76,6 cuando está en pies

El valor de k es: 42,3 cuando está en metros

Por lo que se tiene:

$$n = \frac{42,3}{\sqrt{1,35}} = 36,40 \text{ rpm}$$

Este es el valor, en el cual las bolas no realizan ningún trabajo útil.

El movimiento de las bolas tiene una considerable influencia de molienda, si el molino gira muy rápido las bolas pueden elevarse muy alto, entonces cuando caen pueden no pegar en la carga del molino sino caer sobre las placas del blindaje libres, disipando así innecesariamente la energía, alternativamente, el impacto puede ser excesivo, originando una sobre molienda con la consiguiente compactación y reaglomeración del material ya molido. Para mayores velocidades las bolas pueden centrifugarse y cesar (Champi, 2015).

Por lo tanto:

La velocidad optima de un molino esta entre 45% - 80%, pero nuestro diseño tomará el 48%. Entonces:

Velocidad real optima=velocidad crítica x 0,5

Velocidad real optima = $36,40 \times 0,48 = 17,47$ rpm

La cual es equivalente a la velocidad de diseño del molino en rpm.

g) Cantidad y llenado del molino de bolas:

Tabla 15

Peso de las bolas de acero

Tamaño de bolas (cm)	Cantidad requerida (T)
8	1,830
5	1,3
TOTAL	3,13

Nota. Datos obtenidos según la compañía Allis Mineral

Según L. Lewenson el llenado óptimo de los molinos debe ser tal que $h=0,16D$

Entonces, para nuestro caso:

$D= 1,35$ m

Por lo tanto, la altura será: $h=0,16 \times 1,35= 0,216$ m

h) Llenado de bolas en el molino:

El llenado de bolas de acero, varía entre 28% al 45%. Por debajo del 28% de llenado, los cuerpos molidores se deslizan sobre el blindaje del molino, por encima del 45% de llenado se originan dificultades en las trayectorias de caída de los cuerpos molidores.

$$\text{Grado de llenado} = \frac{\text{volumen ocupado por la bola}}{\text{volumen libre del molino}}$$

$$\text{Volumen ocupado por la bola} = \frac{\text{carga total bola}}{\text{densidad de la bolas}}$$

Densidades bolas grandes: $4,3 \text{ T/m}^3$

Carga total: 3,13 toneladas

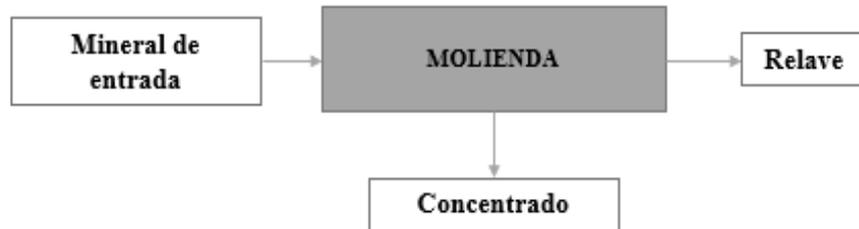
Volumen ocupado de las bolas: $0,728 \text{ m}^3$

Volumen libre: 193 m^3

Completando los datos en el grado de llenado, tenemos:

$$\text{Grado de llenado} = \frac{0,728}{1,93} = 38\%$$

ANEXO 5: CALCULO DE LA CANTIDAD DE CONCENTRADO



$$C = \frac{F(f-t)}{c-t} \quad ; \quad T = F - C \quad ; \quad R = \frac{Cc}{Ff} \times 100$$

C= Cantidad de concentrado (T/día)

F= Mineral de entrada (T/día)

f= Ley del mineral de entrada (g/T)

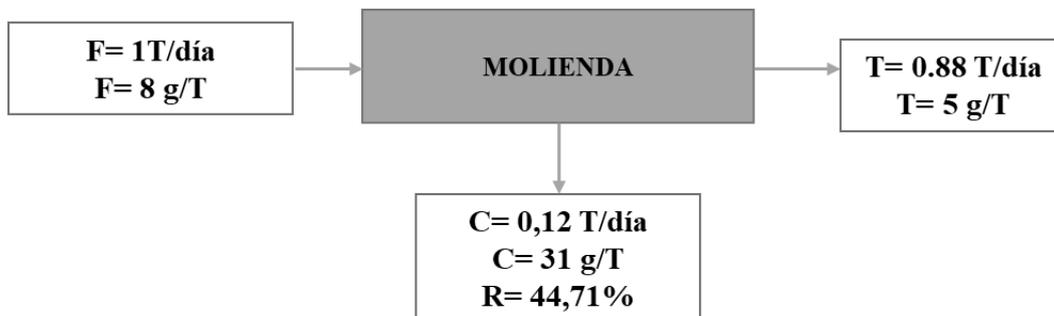
T= Cantidad de relave (T/día)

t= Ley de relave (g/T)

c= Ley de concentrado (g/T)

R= Recuperación

K= Ratio



ANEXO 6

Figura 11

Mineral de alta ley – mina esperanza



Figura 12

veta galleta – mina esperanza



Figura 13

preparación de mineral de alta ley – mina esperanza



Figura 14

Acumulación de mineral de baja ley – mina esperanza



Figura 15

Comparación de mineral de baja ley y concentrado

