

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE UNA
MATRIZ DE CUARZO EN EL PROCESO DE CONMINUCIÓN DE LA
MINA QORICHAY**

PRESENTADO POR:

Br. AUCCAISE MARTINEZ, Ruben Dario

Br. VELASQUEZ SERRANO, Jheyson Raul

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO METALÚRGICO

ASESOR:

Ing. CARRASCO TAPIA, Porfirio

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE UNA MATRIZ DE CUARZO EN EL PROCESO DE COMINUCIÓN DE LA MINA ORICHAY

presentado por: AUGCAISE MARTINEZ, RUBEN DARIO con DNI Nro.: 70892450 presentado por: VELÁSQUEZ SERRANO, JHEYSON RAÚL con DNI Nro.: 73985097 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALÚRGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de SETIEMBRE de 2024


Firma
Post firma: Rosendo Carrasco Tapia
Nro. de DNI: 24002881

ORCID del Asesor: 0000-0002-4360-9866

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:378294141 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

11EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE UNA MATRIZ DE CUA RZO EN EL PROCESO DE CONMINUCIÓN

AUTOR

RUBEN DARIO AUCCAISE MARTINEZ

RECUENTO DE PALABRAS

23937 Words

RECUENTO DE CARACTERES

129470 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

179 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.2MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 4, 2024 5:58 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 4, 2024 6:00 PM GMT-5

● 4% de similitud general

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

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores Catedráticos miembros del jurado:

Con la finalidad de optar al Título Profesional de Ingeniería Metalúrgica, y de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, presentamos a su consideración el presente trabajo intitulado:

“EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE UNA MATRIZ DE CUARZO EN EL PROCESO DE CONMINUCIÓN DE LA MINA QORICHAY”

Esperando que el presente trabajo de investigación cumpla los objetivos proyectados por los graduandos y sirva de referencia para todas aquellas personas especializadas en el procesamiento de minerales.

RUBEN DARIO AUCCAISE MARTINEZ

JHEYSON RAÚL VELÁSQUEZ SERRANO

DEDICATORIA

A Dios, a nuestro Sr. Qoylluritti y nuestra Virgen del Carmen, por darme la oportunidad de vivir.

A mi madre Idalia, por dedicarme todo su amor, estar siempre conmigo en todo momento y formarme en la persona que soy.

A mi padre Ruben, por apoyarme académicamente y estar conmigo a pesar de la distancia.

A mi hermana Killa Illary, por todo su apoyo, atención y preocupación hacia mi persona.

A Eulogio y Jesús, por sus enseñanzas, ejemplo y amor que me impartieron desde muy niño para ser un hombre de bien.

Ruben Dario Auccaise Martinez

DEDICATORIA

A mi madre Yanett, abuelos Teofilo y Victoria, padrinos Yhayna y Johan, y una especial mención para mi tía Olivia, cuyo amor, apoyo incondicional y paciencia han sido mi mayor fuente de motivación. Este logro es tanto mío como suyo, y cada uno de ustedes ha jugado un papel crucial en este viaje. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por celebrar cada pequeño triunfo conmigo. Esta tesis es un testimonio del sacrificio y dedicación entregados.

Con profundo agradecimiento,

Jheyson Raúl Velásquez Serrano

AGRADECIMIENTO

Estimado Ing. Porfirio Carrasco

Queremos tomarnos un momento para agradecerle sinceramente por el increíble apoyo que nos ha brindado. Su ayuda ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación, y no podemos expresar lo suficiente cuánto hemos valorado su orientación y aliento.

Su disposición para escuchar, aconsejar y ofrecernos el respaldo necesario ha hecho una gran diferencia en el trayecto de realización de la presente tesis. Gracias a su apoyo constante, nos hemos sentido más seguros y motivados para enfrentar los desafíos y avanzar hasta este punto.

Le estamos muy agradecidos por todo lo que ha hecho y le deseamos lo mejor en sus futuros proyectos.

Atentamente,

Jheyson Raúl Velásquez Serrano

Rubén Dario Auccaise Martinez

RESUMEN

La actual tesis de investigación se sitúa en el proceso de conminución de minerales, específicamente en la molienda de mineral de oro en matriz de cuarzo, donde disminuyendo la densidad de pulpa y a un tiempo mayor de molienda podremos conseguir un grado de liberación del 0.96, y habiendo conseguido los parámetros adecuados con los cuales se pueda lograr dicho grado de liberación, se podrá conseguir una mayor recuperación en procesos metalúrgicos posteriores a este, como el proceso de flotación y/o cianuración por agitación dentro de la planta de procesamiento de la empresa Corporación Aurífera Electrum S.A.. Dicha tesis de investigación, se realizó experimentalmente en el laboratorio de procesamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica en la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, realizando las pruebas de molienda y modificando las variables más relevantes como lo son la densidad de pulpa y el tiempo de molienda para el tipo de procesamiento aplicado en planta. Se realizaron 5 pruebas variando entre un mínimo y un máximo para cada variable, cuyo resultado final es que a una densidad de 1650 gr/L y a un tiempo de molienda de 25 minutos se obtiene un grado de liberación al 0.96 a -200 malla ASTM a nivel de laboratorio por medio de un análisis mineralógico por microscopía óptica. Siendo este resultado óptimo para la liberación de oro a partir de mineral con matriz de cuarzo.

Palabras clave: Molienda, Análisis mineralógico por microscopía óptica, Grado de Liberación.

ABSTRACT

This research thesis focuses on the comminution process of minerals, specifically the grinding of gold ore in a quartz matrix. By reducing the pulp density and increasing the grinding time, we can achieve a liberation grade of 0.96. Once the appropriate parameters for this liberation grade are established, it will facilitate a higher recovery in subsequent metallurgical processes, such as flotation and/or agitation cyanidation within the processing plant of Corporación Aurífera Electrum S.A. This research was conducted experimentally in the mineral processing laboratory of the Professional School of Metallurgical Engineering at the National University of San Antonio Abad in Cusco, where grinding tests were performed and key variables such as pulp density and grinding time were modified according to the processing type applied in the plant. Five tests were conducted, varying each variable between a minimum and maximum, with the final result showing that at a density of 1650 gr/cc and a grinding time of 25 minutes, a liberation grade of 0.96 at -200 mesh ASTM is achieved at the laboratory level through mineralogical analysis using optical microscopy. This result is optimal for the liberation of gold from quartz matrix ore.

Keywords: Milling, Mineralogical Analysis by Optical Microscopy, Degree of Liberation.

INDICE

PRESENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación Problemática.....	1
1.2 Formulación de Problemas	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.3.1 Conveniencia	2

1.3.2	Relevancia Social	2
1.3.3	Relevancia Tecnológica.....	3
1.3.4	Valor Teórico.....	3
1.3.5	Utilidad Metodológica.....	3
1.4	Objetivos de Investigación	3
1.4.1	Objetivo General.....	3
1.4.2	Objetivos Específicos	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		5
2.1	Antecedentes de la Investigación (Estado del Arte).....	5
2.1.1	Antecedentes Internacionales	5
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....	5
2.2	Bases Teóricas	7
2.2.1	Introducción.....	7
2.2.2	Minerales Auríferos.....	8
2.2.3	Mecanismos de Conminución	9
2.2.4	Etapas de Conminución.....	11

2.2.5	Postulados de la Conminución	11
2.2.6	Justificación para Reducir el Tamaño de Mineral	14
2.2.7	Molinos	14
2.2.8	Carga de un molino.....	22
2.2.9	Zonas del Interior de un Molino	24
2.2.10	Velocidad de Giro o Rotación	27
2.2.11	Velocidad Crítica	29
2.2.12	Análisis Granulométrico	30
2.2.13	Tiempo de Molienda.....	31
2.2.14	Cinética de Molienda.....	32
2.2.15	Potencia Requerida	33
2.2.16	Pulpa	34
2.2.17	Liberación.....	35
2.2	Definición de Términos Básicos.....	39
2.3.1	Oro	39
2.3.2	Cuarzo.....	41

2.3.3	Molienda de Minerales	41
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES		44
3.1	Hipótesis	44
3.1.1	Hipótesis General	44
3.1.2	Hipótesis Especificas.....	44
3.2	Variables.....	44
3.2.1	Identificación de Variables.....	44
3.2.2	Indicadores.....	44
3.2.3	Operacionalización de Variables.....	45
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....		46
4.1	Ámbito de la investigación.....	46
4.1.1	Información de la empresa	46
4.1.2	Geología.....	47
4.1.3	Grupo San José (Oim-sj)	47
4.1.4	Formación sandía (os-s).....	47
4.2	Metodología de la Investigación.....	49

4.3	Tipo y Alcance de la Investigación	51
4.3.1	Diseño Experimental	51
4.4	Población y muestra.....	54
4.4.1	Población	54
4.4.2	Muestra	55
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
4.5.1	Técnica de recolección de datos	55
4.5.2	Instrumentos de recolección de datos	56
4.6	Método de investigación.....	59
4.6.1	Técnica de investigación	60
CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....		63
5.1	Muestra de mineral	63
5.2	Presentación, análisis e interpretación de las características del mineral.....	64
5.2.1	Presentación de las características del mineral para molienda de bolas.....	64
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		88
6.1	Resultados obtenidos	88

6.1.1	Cálculo de cinética de Conminución.....	90
6.1.2	Cálculo de Energía Consumida	92
6.1.3	Cálculo de Velocidad Crítica.....	92
6.2	Resultados y Análisis del Diseño Experimental.....	93
6.2.1	Ecuación de Regresión	93
6.2.2	Análisis de Varianza.....	95
6.2.3	Análisis de graficas.....	96
6.2.4	Grado de Liberación	99
6.3	Discusión de resultados	100
CONCLUSIONES		101
BIBLIOGRAFIA		102
ANEXO N°01: Matriz de consistencia.....		107
ANEXO N°2: Cronograma de actividades		108
ANEXO N°3: Presupuesto.....		109
ANEXO N°4: Panel fotográfico de actividades en la mina Qorichay.....		110

ANEXO N°5: Panel fotográfico de actividades realizadas en laboratorio de procesamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.....	112
ANEXO N°6: Resultados de laboratorio externo con respecto a la tabla N°5.15.....	118
ANEXO N°7: Autorización de uso de información para desarrollar tesis de investigación.	134
ANEXO N°8: Resultados de laboratorio externo con respecto al estudio minerográfico del mineral aurífero.....	135
ANEXO N°9: Resultados de laboratorio externo con respecto al estudio minerográfico del mineral aurífero para la determinación del grado de liberación.	140
ANEXO N°10: Instructivo para análisis minerográfico de grado de liberación.....	147
ANEXO N°11: Informe de análisis granulométrico en el laboratorio de procesamiento de minerales (Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica)	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Distribución de carga en el interior de un molino	27
Tabla 3.1 Operacionalización de variables	45
Tabla 4.1 Pruebas a efectuar	54
Tabla 5.1 Características de mineral de oro de la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A. C.....	64
Tabla 5.2 Resultado del análisis químico de Oro en el mineral de cabeza.....	65
Tabla 5.3 Determinación de Gravedad específica	67
Tabla 5.4 Preparación de pulpa para la molienda húmeda a densidad de 1.650 gr/cc.....	70
Tabla 5.5 Preparación de pulpa para la molienda húmeda a densidad de 1.850 gr/cc.....	71
Tabla 5.6 Preparación de pulpa para la molienda húmeda a densidad de 1.750 gr/cc.....	72
Tabla 5.7 Distribución de pruebas en función a las variables.....	73
Tabla 5.8 Análisis granulométrico de la alimentación a -10 malla ASTM y tiempo de molienda 0 minutos.....	74
Tabla 5.9 Análisis granulométrico de la prueba N°1 a 5 minutos de molienda.....	75
Tabla 5.10 Análisis granulométrico de la prueba N°2 a 25 minutos de molienda.....	76
Tabla 5.11 Análisis granulométrico de la prueba N°3 a 25 minutos de molienda.....	77

Tabla 5.12 Análisis granulométrico de la prueba N°4 a 5 minutos de molienda.....	78
Tabla 5.13 Análisis granulométrico de la prueba N°5 a 15 minutos de molienda.....	79
Tabla 5.14 Análisis granulométrico de la prueba N°6 a 15 minutos de molienda.....	80
Tabla 5.15 Análisis granulométrico de la prueba N°6 a 15 minutos de molienda.....	81
Tabla 5.16 Resumen de resultados de los análisis granulométricos	82
Tabla 5.17 Resultados de los análisis químico realizados a las pruebas de molienda.....	83
Tabla 5.18 Balance metalúrgico de la prueba N°1	84
Tabla 5.19 Balance metalúrgico de la prueba N°2	85
Tabla 5.20 Balance metalúrgico de la prueba N°3	85
Tabla 5.21 Balance metalúrgico para la prueba N°4	86
Tabla 5.22 Balance metalúrgico de la prueba N°5	86
Tabla 6.1 Resumen de las variables independientes y dependientes	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Efecto de cizalla en una partícula.....	10
Figura 2.2 Estructura de un molino de bolas	18
Figura 2.3 Interior del molino de barras	19
Figura 2.4 Exterior del molino de barras	20
Figura 2.5 Exterior de un molino SAG	21
Figura 2.6 Estructura de un molino autógeno	22
Figura 2.7 Zonas del interior de un molino (sección transversal).....	25
Figura 2.8 Aumento del grado de llenado en el interior de un molino (sección transversal) ..	27
Figura 2.9 Serie de tamices	31
Figura 2.10 Partículas libres y mixtas producidas durante la fragmentación de una muestra en la que ocurren los especies minerales X, Y y Z.....	36
Figura 2.11 Diversas etapas sucesivas durante la reducción de tamaño de una partícula mixta constituida por las especies minerales X e Y	37
Figura 2.12 Oro nativo en mineral de cuarzo	40
Figura 4.1 Mineral identificado	50
Figura 4.2 Vista general de la formación geológica	50

Figura 4.3 Diagrama del procedimiento experimental	62
Figura 5.1 Resultado del análisis químico de Oro en el mineral de cabeza. Cristales de oro nativo como inclusiones en gangas (GGs).....	66
Figura 5.2 Grafica de análisis granulométrico de la prueba N°1	75
Figura 5.3 Grafica de análisis granulométrico de la prueba N°2.....	76
Figura 5.4 Gráfico de análisis granulométrico de la prueba N°3.....	77
Figura 5.5 Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°4.....	78
Figura 5.6 Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°5.....	79
Figura 5.7 Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°6.....	80
Figura 5.8 Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°7.....	81
Figura 6.1 Grafica de Cinética de Molienda.....	91
Figura 6.2 Superficie de respuesta	94
Figura 6.3 Resumen de regresión múltiple	95
Figura 6.4 Resumen de análisis de varianza	96
Figura 6.5 Diagrama de Pareto	97
Figura 6.6 Grafica de residuos para % - 200	98
Figura 6.7 Grafica de efectos principales para % - 200.....	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Postulado de Rittinger	12
Ecuación 2 Postulado de Kick	13
Ecuación 3 Postulado de Bond	14
Ecuación 4 Velocidad crítica en rpm	30
Ecuación 5 Velocidad crítica en rad/s.....	30
Ecuación 6 Ecuación de rapidez de fractura	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 7 Determinación del grado de liberación para dos o más especies mineralógicas ..	38
Ecuación 8 Relación entre variables independientes y variable dependiente.....	51
Ecuación 9 Gravedad específica	67
Ecuación 10 Determinación de porcentaje de sólidos	69
Ecuación 11 Ecuación de regresión múltiple.....	93

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el oro tiene una gran importancia económica y financiera; es un soporte o refugio ante la inflación y depreciación de las divisas, al día de hoy es uno de los metales con alta tendencia de cotización, es por eso que trae consigo la creación de plantas de beneficio auríferos, o estos a su vez busquen una optimización en sus procesos; este es el caso de nuestro país y región, en el cual se busca la apertura de plantas de procesamiento de minerales y dar inicio de manera óptima el proceso por el cual se pueda obtener este metal tan demandado al día de hoy.

Para obtener una óptima producción de oro, es necesario entender como primer paso la conminución de minerales, el cual consta de una operación de reducción de tamaño de mineral para liberar partículas valiosas, en este caso el oro, de partículas estériles.

En molienda generalmente se tiene un tamaño de alimentación entre 20 a 5 milímetros, el cual dependerá de las características o propiedades mecánicas y/o físicas del mineral; para que tenga un tamaño de producto entre 100 a 200 mallas en serie ASTM, previamente se tendrá que seleccionar entre molienda por vía húmeda o vía seca, de acuerdo a la disponibilidad de agua, energía disponible, etc.

Por lo tanto, el yacimiento ubicado en la concesión WAYNA INKA perteneciente a la empresa Corporación Aurífera Electrum S.A. ubicado en el distrito y provincia Paucartambo, región Cusco; busca iniciar operaciones en su planta de beneficio, y como primer punto importante en todo proceso se desea obtener una liberación óptima del mineral valioso y que este a su vez sirva para los futuros procedimientos como son flotación y lixiviación según sea el caso.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

La operación mecánica de conminución consiste en la reducción de tamaño del mineral, y la intención con esta operación es la de separar o liberar partículas valiosas de las estériles, por esta razón la etapa más importante de la conminución es la molienda; en dicha etapa se realiza la verdadera liberación de las partículas finas de oro. Además, desde el aspecto económico, la etapa es la que genera mayores costos en el circuito de las plantas de procesamiento de minerales a nivel industrial.

La empresa minera CORPORACIÓN AURÍFERA ELECTRUM S.A. actualmente se encuentra en la etapa de inversión, exactamente en la preparación de labores mineras, explotación y acarreo de mineral para su posterior procesamiento en su planta de beneficio que se encuentra en etapa de instalación; la cual está proyectada a procesar 50 TM/día de mineral aurífero.

En la primera prueba piloto que se realiza en dicha planta se obtuvo recuperaciones bajas de oro, esto comprobado mediante pruebas de análisis químico. Teniendo en cuenta este problema, se llega a la conclusión de investigar en que etapa del circuito de la planta se tenía el percance. Mediante consulta a profesionales expertos del tema y bibliografía se llega a la conclusión que el inconveniente estaba en la etapa de molienda, específicamente en que no se llegaba a lograr el grado de liberación del mineral valioso.

Por lo tanto, se tiene como punto principal de la investigación el poder generar un grado de liberación de oro óptimo para conseguir una recuperación acorde a los estudios e inversión

realizados, además de establecer los parámetros de operación en base a las variables que más incidencia tienen, como lo son: la densidad de pulpa y el tiempo de molienda.

1.2 Formulación de Problemas

1.2.1 Problema General

- ¿A qué tamaño de partícula se alcanza el mayor grado de liberación de oro en la matriz de cuarzo?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál será la densidad de pulpa para la molienda?
- ¿Cuál será el tiempo de permanencia de mineral en molienda?

1.3 Justificación

1.3.1 Conveniencia

El trabajo de investigación sirve de forma inmediata para encontrar el grado de liberación de la mena aurífera, tomando en consideración las características mineralógicas. Permitiendo una mayor recuperación en etapas posteriores al procesamiento del mineral, además de conocer la incidencia del tiempo de molienda y la densidad de pulpa, logrando un mayor grado de liberación.

1.3.2 Relevancia Social

El presente trabajo de investigación tiene un impacto positivo al plantear los datos alternativos para las variables de operación en planta y este a su vez genera puestos de trabajo

al necesitar personal para la operación de dicha planta, mejorando así la calidad de vida de los colaboradores participantes.

1.3.3 Relevancia Tecnológica

Los resultados experimentales sostienen y confirman la teoría que se tiene con respecto a la actividad que se plantea, siguiendo la metodología adecuada y habiendo reconstruido a escala de laboratorio el proceso de conminución que se plantea en planta, habiendo conseguido el solucionar el problema planteado previamente.

1.3.4 Valor Teórico

El trabajo realizado aporta a las actividades de molienda de minerales auríferos y brinda un soporte puntual a otras investigaciones.

1.3.5 Utilidad Metodológica

El trabajo de investigación aporta a manera de sugerencia técnicas de recolección de datos como lo es el muestreo por canales y una metodología por diseño factorial para el análisis de resultados, pudiendo dicho método ser utilizado en posteriores investigaciones.

1.4 Objetivos de Investigación

1.4.1 Objetivo General

- Determinar el tamaño de partícula al cual se alcanza un grado de liberación de oro óptimo a partir de una matriz de cuarzo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la densidad de pulpa adecuada para la molienda del mineral.
- Determinar el tiempo de molienda óptimo para la molienda.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación (Estado del Arte)

2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

GOMES BRANDAO, Paulo (2016), Universidad Federal de Minas Gerais, realizo la tesis intitulada “GRADO DE LIBERACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE MINERAL DE HIERRO DE LAS MINAS DE ALEGRÍA (MARIANA-MG) Y SU INFLUENCIA EN LAS ETAPAS DE CONMINUCIÓN Y CONCENTRACIÓN”, la investigación tiene por objetivo estudiar el grado de liberación de las especies mineralógicas en diferentes tipos de minerales de hierro mediante microscopia de luz reflejada y por el sistema Mineral Liberation Analyzer (MLA), a lo largo de un diagrama de flujo de caracterización tecnológica de cinco diferentes tipos de mineral de hierro. Por lo cual en la molienda se produjo un aumento del grado de liberación del cuarzo y disminución de proporción de partículas mixtas con aumento del grado de absorción, principalmente para los minerales semi compactos y compactos. Sin embargo, los valores de grado de liberación del cuarzo aún permanecen bajos y la proporción de partículas mixtas elevada después de la molienda.

2.1.2 *Antecedentes Nacionales*

CÓNDOR ESPÍRITU, Jhon Arturo y HUAMÁN CASTILLO, Patricio Efraín (2017), Universidad Nacional de Ingeniería, realizaron la tesis intitulada “EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA MOLIENDA Y FLOTACIÓN EN MINERALES OXIDADOS CON CONTENIDO DE ORO Y COBRE”. La finalidad de este estudio es identificar y evaluar los parámetros que permitan lograr una recuperación más efectiva de cobre y oro, enfocándose en minerales oxidados con elevados niveles de hierro, carbonatos, refractarios, entre otros, que dificultan los métodos de extracción convencionales.

Por ello, se requiere un tratamiento especializado de los minerales provenientes de fuentes oxidadas, utilizando procesos físicos y/o químicos que optimicen el de recuperación de cobre y oro. Asimismo, al aplicar las medidas de molienda y flotación que se obtiene a través de experimentación, se logra mejorar el proceso, resultando en una mejor recuperación de cobre y oro en comparación con los métodos tradicionales, siendo el mejor rendimiento observable con un grado de molienda del 80% por debajo de la malla 200.

SALAZAR CRUZ, Omar Angelo (2018), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, realizaron la tesis intitulada “APTITUD EN LA MOLIENDA DE MINERALES MIXTO PARA LA LIBERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL DE LA EMPRESA MACDESA – 2018”. El fin fue analizar la carga de moledora, la aceleración crítica y el tiempo necesario para lograr la extracción del mineral. En consecuencia, se concluyó que los parámetros considerados para el porcentaje de velocidad crítica se alcanzan cuando el molino opera al 90% de su velocidad crítica, obteniendo un 85.64% de mineral que pasa a través de malla 200. En el estudio de varianza, el valor de p fue 0.010, que es menor que α 0.05, con un significado de 5.76. En cuanto al cargamento moledora, se registró que es óptimo para operar con un 31.30% de C_w , alcanzando un 79.54% de mineral pasante a malla 200; el estudio de la variabilidad mostró un p de 0.001, que también es menor que α 0.05, con una significancia de 12.85. Finalmente, el mejor resultado para el tiempo de molienda se dio a los 16 minutos, logrando un 84.12% de mineral que pasa a malla 200; en este caso, el estudio de varianza reveló un p de 0.001, inferior a α 0.05, con un resultado de 11.60.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Introducción

A nivel industrial, las operaciones que se usan para la reducción de partículas son altamente requeridos y, por tanto, tienen una gran demanda, los cuales son aplicados a: minerales, rocas, plásticos, cemento, etc. En términos generales, estas operaciones son realizadas mediante equipos conocidos como molinos.

Es posible procesar diferentes cantidades de materiales por hora, desde pequeñas cantidades en operaciones de baja escala hasta enormes cantidades en operaciones de gran escala (a nivel industrial). Frecuentemente, el material debe ser molido hasta convertirse en un polvo muy fino, lo que puede requerir una secuencia o circuito de equipos para lograr la reducción deseada, en caso un solo molino no sea suficiente.

Los máquinas que reducen grandes masas se denominan "crushers" en inglés, mientras que aquellas que trituran hasta obtener partículas más pequeñas se conocen como "mills". Hay un rango de tamaños en el que las aplicaciones de ambos equipos se pueden solapar. En español, no existe una diferenciación específica, y generalmente se les refiere como "molinos". Estos molinos presentan un elevado consumo energético y experimentan un considerable desgaste mecánico debido a la erosión generada por las partículas más finas. Al igual que los granuladores, los molinos guardan una notable similitud con los reactores químicos que operan en procesos de gas/líquido, ya que la división de las dimensiones de las partículas en la salida es completamente distinta a la de la entrada (en un reactor, la mezcla que sale del equipo tiene una composición diferente a la que ingresó). (Universidad Nacional del Sur, departamento de Ingeniería química, 2013, p. 1).

En la minería, el proceso de reducción de minerales a menos de 0.2 milímetros se conoce como molienda, y tiene como objetivo preparar el mineral para su posterior tratamiento, como la flotación u otros procesos.

2.2.2 *Minerales Auríferos*

Se encuentra generalmente en su forma nativa o en combinaciones con plata. En la naturaleza, se presenta en concentraciones reducidas, disperso y en filones vinculados a rocas ígneas de naturaleza silícica. La procedencia fundamental del oro se encuentra en los filones hidrotermales compuestos de cuarzo y oro, en la que este metal se deposita junto a la pirita y otros minerales sulfurados, siendo por ello parte de las disoluciones minerales ascendentes. En casi todos los casos, el oro se mezcla de manera mecánica con los sulfuros y se combina químicamente con ellos.

En la superficie de la Tierra, los sulfuros que contienen oro suelen hallarse en estado oxidado, lo que permite encontrar el metal en su forma libre, facilitando así su extracción. En el caso de los filones, el oro se presenta de manera finamente distribuida y en pequeñas cantidades, lo que hace que su detección no sea posible a simple vista. (Dana, 1959, pp. 233-234)

“A pesar de que hay diversos tipos de geologías, se logran identificar siete categorías principales: vetas de oro en cuarzo, depósitos epitermales, placeres jóvenes, placeres fósiles, depósitos con oro disperso, oro presente en minerales de metales no ferrosos y oro disuelto en agua de mar.” (Yannopoulos, 1991, p. 3).

2.2.3 *Mecanismos de Conminución*

Los minerales tienen una estructura cristalina y su cohesión se debe a diferentes tipos de enlaces que unen sus átomos y la configuración que tienen entre ellos.

Estos vínculos son funcionales únicamente a distancias cortas y pueden fallar ante la aplicación de fuerzas de tensión o compresión. Para romper una partícula, es necesario contar con una cantidad suficiente de energía, dado que todos los materiales presentan defectos, ya sean de naturaleza microscópica o macroscópica. Las fisuras se activan al incrementar la concentración de esfuerzos, lo que provoca su propagación y, en consecuencia, la fragmentación de la partícula (Rivera, 2003, p. 89). Los mecanismos involucrados son:

2.2.3.1 Fractura. Se define como la separación de un cuerpo sólido en fragmentos más pequeños como resultado de un proceso de deformación que no es uniforme. Existen varios métodos para fracturar un mineral:

2.2.3.1.1 Compresión. En este método, se aplica una compresión lenta mediante máquinas de chancado, las cuales están equipadas con una superficie fija y otra móvil. Esto permite la generación de partículas en diversos tamaños. Para minimizar la cantidad de material compuesto por partículas muy finas, es posible recurrir a superficies corrugadas, ya que estas reducen el área de contacto. Este proceso puede ser ilustrado en la figura 2.1.

2.2.3.1.2 Impacto. Este método implica aplicar fuerzas de compresión a una velocidad más elevada de lo común, lo que provoca que la partícula consuma una porción excesiva de fuerza más de la que realmente necesita para fracturarse. Como resultado de este proceso, el producto final tiende a tener formas y dimensiones muy homogéneas.

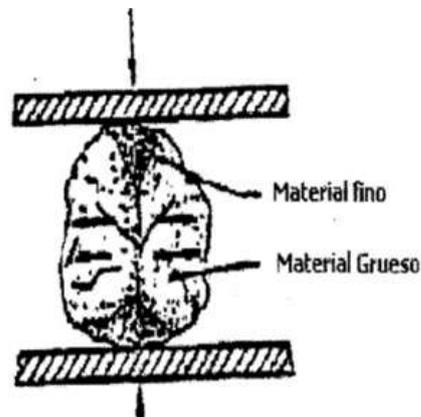
2.2.3.1.3 Cizalla. Este método se considera un efecto secundario que ocurre al aplicar fuerzas de compresión e impacto simultáneamente. Como consecuencia, se obtiene una gran cantidad de partículas pequeñas.

2.2.3.2 Astillamiento. Este proceso consiste en el rompimiento de esquinas y bordes de una partícula, causado por ejercer esfuerzos que no están centrados adecuadamente. Esta técnica resulta en una fragmentación irregular que puede afectar la calidad y el volumen del cuerpo de las partículas resultantes.

2.2.3.3 Abrasión. Este mecanismo consiste en la aplicación de esfuerzo de cizalla, el cual concentra las fuerzas en el área de la partícula.

Figura 2.1

Efecto de cizalla en una partícula



Nota. Tomado de Mecanismos de conminución [Imagen], por Blog de Procesamiento de Minerales, 2012, (<https://procesaminerales.blogspot.com/2012/05/chancado-mecanismos-de-conminucion.html>).

2.2.4 Etapas de Conminución

La conminución, que se refiere al proceso de reducción de tamaños del mineral en una planta de procesamiento, es un aspecto crucial para el tratamiento efectivo del material extraído. Esta reducción no se realiza de manera aislada, sino que se lleva a cabo en diferentes etapas, lo que permite clasificar los equipos y las técnicas empleadas. Principalmente, se pueden identificar dos etapas clave en este proceso: el chancado y la molienda.

El proceso de chancado se aplica para disminuir el tamaño del material mineral desde su estado natural hasta alcanzar un tamaño de partícula aproximado de un centímetro. Por otro lado, la molienda se enfoca en la reducción de tamaños aún más pequeños, que varían entre un centímetro y 50 micrones. Tanto el chancado como la molienda se dividen a su vez en varias subetapas, generalmente clasificadas como primaria, secundaria y terciaria, con el fin de optimizar el proceso de reducción y maximizar la eficiencia en la obtención de partículas adecuadas para el siguiente tratamiento. (Rivera, 2003, p. 92)

2.2.5 Postulados de la Conminución

De acuerdo a Rivera (2003), "son consideradas leyes de la conminución los postulados descritos posteriormente".

2.2.5.1 Postulado de Rittinger. Este principio, que se conoce como la "Primera Ley de la Conminución", sostiene que "la cantidad de energía específica empleada para disminuir la dimensión de un material consistente que es proporcional de manera directa al área determinada nueva que se crea". (Rivera, 2003, p. 93)

Considera la energía requerida para provocar una fractura entre sólidos ideales, tomando en cuenta que una vez que el material llega a su límite de ruptura, se puede calcular la energía

necesaria para continuar con el proceso de reducción. Este enfoque es esencial en el aspecto de la ingeniería de materiales, ya que permite entender mejor la correlación que existe dentro de las dimensiones de las partículas y la energía empleada, lo que resulta crucial para optimizar procesos industriales como la molienda y la trituración. Como se presenta en la Ecuación 1.

$$E_R = K_R \left[\left(\frac{1}{P_{80}} \right) + \left(\frac{1}{F_{80}} \right) \right] \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

E_R : Energía específica de conminución (kW-hr/TM)

K_R : Constante de Rittinger

P_{80} : Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto

F_{80} : Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación

2.2.5.2 Postulado de Kick. En 1885, el científico Kick formuló de forma independiente una segunda teoría que establece un principio esencial: " la cantidad de energía requerida para generar alteraciones similares en el tamaño de cuerpos con geometrías equivalentes es proporcional al volumen de dichos cuerpos". Este teorema sugiere que, al aplicar energía en cantidades iguales, se generarán cambios geométricos equivalentes en las dimensiones de un sólido.

Según esta teoría, la energía requerida al fracturar un cuerpo sólido ideal se considera exclusivamente importante para desfigurar el sólido hasta llegar a su alcance de rompimiento. En este contexto, se ignora la energía adicional que se necesita para causar realmente la ruptura

del material. Este concepto se puede ilustrar a través de la Ecuación 2 (Rivera, 2003, p. 94). Esta comprensión del comportamiento de los sólidos es fundamental en campos como la ingeniería y la física, donde se busca optimizar procesos de fractura y deformación de materiales en diversas aplicaciones prácticas. (Rivera, 2003 p. 94)

$$E_K = K_K \log_{10} \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

E_K : Energía específica de conminución (kW-hr/TM)

K_K : Constante de Kick

P_{80} : Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto

F_{80} : Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación

2.2.5.3 Postulado de Bond. En 1952, el ingeniero Bond formuló una regla basada en la experiencia que es reconocida como la tercera ley de la conminución. La mencionada ley establece que la energía requerida para disminuir el volumen de un material en un 80% es contrariamente proporcional a la raíz cuadrada de dicha dimensión. En este contexto, se concreta el "tamaño 80%" como la apertura del tamiz, medida en micrones, el cual permite el paso del 80% en peso de las partículas del material.

Como se observa en la Ecuación 3, Bond también introdujo el parámetro E_B , que se relaciona con el Work Index o índice de trabajo. Este índice representa la cantidad total de trabajo, expresada en kilovatios-hora por tonelada corta (kW-h/TC), que es importante para disminuir una tonelada de material desde un volumen que pueda considerarse teóricamente infinito hasta un estado en el que el 80% de las partículas tienen una dimensión menos de 100

micrones. Este planteamiento es fundamental en el ámbito de la conminución, ya que permite predecir la energía necesaria para procesar diferentes tipos de minerales y materiales, lo que tiene un impacto significativo en la eficiencia y economía de los procesos industriales. (Rivera, 2003, p. 95)

$$E_B = W_I \left[\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} + \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right] \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde

E_B : Energía específica de conminución (kW-hr/TC)

W_I : Índice de trabajo (kW-hr/TC)

P_{80} : Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto

F_{80} : Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación

2.2.6 *Justificación para Reducir el Tamaño de Mineral*

- Liberar las especies mineralógicas comerciales desde la matriz, formada por minerales de valor y de desecho.
- Satisfacer las necesidades del mercado en cuanto al tamaño requerido en el producto.
- Recuperar el mineral valioso ya sea por flotación o gravimetría, dependiendo del tipo de mineral y producto deseado.

2.2.7 *Molinos*

Los molinos son dispositivos cilíndricos que operan con un diseño de rotación horizontal. Su interior está revestido con materiales altamente resistentes para soportar el desgaste. La

carga interna, que generalmente comprende entre un 30 y un 45% de su capacidad total, está compuesta por barras o bolas de acero, según el tipo específico de molino que se esté utilizando. Estos equipos rotatorios funcionan con ejes y esferas y reciben de manera continua mineral, que puede provenir de diversas fuentes, como el proceso de moler, una carga de regreso o la carga circulante de un hidrociclón. Además, el uso de molinos es crucial en la minería, ya que permiten la molienda del mineral a un tamaño adecuado para los procesos posteriores de separación y extracción de minerales valiosos.

Dicho material puede encontrarse en vía seca o vía húmeda, dependiendo de diversos factores. Si se encuentra en vía húmeda, tendrá que estar acompañada con una cantidad adecuada de agua.

2.2.7.1 Factores que Determinan la Vía Seca o Vía Húmeda en Molienda. La elección entre el proceso de molido de forma seca y de forma húmeda estará determinada de acuerdo a una serie de factores importantes. Algunos de los aspectos más relevantes incluyen:

- **El Tipo de Procesamiento Posterior:** La decisión de utilizar un proceso de molienda seco o húmedo puede depender del tipo de procesamiento que se realizará posteriormente, ya sea este húmedo o seco.
- **Disponibilidad de Agua:** La cantidad y disponibilidad de agua en el proceso es otro factor crítico. En muchos casos, la falta de agua puede favorecer el uso del molido en seco.
- **Eficiencia Energética:** El molido medio húmedo suele ser más eficiente en términos de consumo energético, utilizando menos energía por tonelada de material en comparación con la molienda en seco.

- **Espacio Requerido para Clasificación:** La clasificación de materiales en un medio húmedo tiende a requerir menos espacio que en un medio seco, lo que puede ser una ventaja en entornos de producción con limitaciones de espacio.
- **Control del Polvo:** Un beneficio significativo de la molienda húmeda es la reducción de polvo en el ambiente, ya que no se requiere de sistemas adicionales para su mitigación, lo que es necesario en la molienda seca.
- **Bajo Contenido de Humedad:** Para llevar a cabo la molienda en seco, es imperativo tener un bajo contenido de humedad en el material, lo que a menudo implica un control riguroso durante la operación.
- **Desgaste de Materiales:** La molienda en húmedo generalmente conlleva un mayor desgaste de los medios de acero y de los materiales de blindaje por tonelada de producto, debido a factores como la corrosión.
- **Eliminación de Agua:** Un aspecto positivo de la molienda en seco es que elimina la necesidad de procesar y eliminar el agua del producto final, lo que puede simplificar el manejo de materiales.
- **Reactividad de Materiales:** En algunos casos, el comportamiento del material en contacto con el agua puede influir en la decisión. Por ejemplo, materiales como el clinker de cemento pueden reaccionar de manera específica al ser mezclados con agua, lo que afecta el proceso. (Kelly & Spottiswood, 1990, pp. 161-162)

2.2.7.2 Tipos de Molinos. Los molinos de tambor giratorio representan una técnica eficiente para ejercer una fuerza de fractura reducida sobre un volumen considerable de partículas. Este proceso se llevará a cabo por el uso de los recursos de molienda, que facilitan la ruptura de los materiales predominantemente mediante un mecanismo de estallido. Dichos medios de molienda pueden estar formados por diversas sustancias, como barras de acero, bolas

de acero o cerámicas. Alternativamente, también se puede utilizar el propio mineral en forma de partículas, un proceso que se conoce como molienda autógena. Este enfoque no solo optimiza la eficiencia de la molienda, sino que también reduce el desgaste de los elementos del molino y maximiza el aprovechamiento de los recursos minerales.

Para la industria minera existen distintos tipos de molinos, en este caso mencionaremos cuatro principales molinos de acuerdo al medio de molienda que utilizan.

- Molino de bolas
- Molino de barras
- Molino SAG (semiautógenos)
- Molinos Autógenos

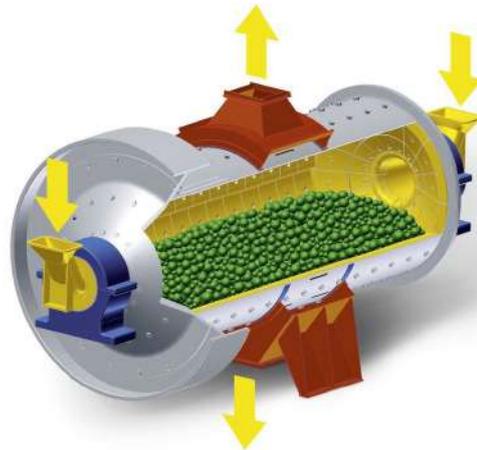
2.2.7.2.1 Molino de Bolas. Este tipo de molino recibe su nombre debido a que utiliza bolas de acero como medio para llevar a cabo el proceso de molienda. Las bolas de acero son preferibles por su mayor área superficial en relación con su peso, lo que las hace más eficaces en la reducción de tamaño del material procesado. Los molinos de bolas se emplean particularmente en las etapas finales de la molienda, siendo ideales para obtener productos con un tamaño de partículas que puede oscilar entre 0.5 mm y 0.075 mm, e incluso lograr productos más finos, menores a 0.075 mm.

El proceso inicia con la alimentación del material que se introduce en el molino a través de uno o ambos muñones. Dentro del molino, las bolas de acero llevan a cabo la trituración del material mediante impactos y fricción. Una vez que el material ha sido molido, es pasado a la cámara de molienda por una ranura, este es extraído a través de un contundo del molino, por medio de un muro de descarga, o en algunos casos, por rebose en las espigas finales. Es

fundamental destacar que la disposición y el arreglo de la abertura de evacuación o del muro de descargo, el cual influye significativamente de la distribución sobre el dimensión de las partículas obtenidas. En sistemas de molienda con circuito cerrado, se pueden ajustar la finura del producto en un separador. En los casos donde se realiza una molienda más gruesa, es posible emplear una máquina separadora que se conecta posteriormente, donde se puede definir previamente el tamaño de separación utilizando una malla adecuada (Gebr. Pfeiffer, 2018).

Figura 2.2

Estructura de un molino de bolas



Nota. Tomado de Principio constructivo y datos técnicos de molino de bolas [Imagen], por Gebr. Pfeiffer, 2018, (<https://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-de-bolas-mrdmre/>).

2.2.7.2.2 Parámetros de Operación del Molino de Bolas. En términos de operación, el molino de bolas presenta un rango de reducción que se extiende desde 2 hasta 340. La densidad de la pulpa, que es una medida del contenido de sólidos, varía entre el 60% y el 85%, siendo raros los casos en que se registren valores por debajo del 65%. Un aspecto crítico en la operativa de estos molinos es minimizar el tiempo de inactividad, manteniéndolo en un máximo del 1%; las paradas frecuentes son generalmente atribuibles a la necesidad de cambiar las soleras. En cuanto a los costos asociados, los más significativos son el uso del

fluido eléctrico y el precio de las soleras. El consumo energético está influenciado por varios factores, como el tamaño del molino, la cantidad de bolas en circulación, la velocidad de rotación y el estado general de las soleras. Si el molino opera dentro de un rango de velocidad dentro del 75% y el 80% de su velocidad crítica, es posible estimar la potencia necesitada considerando el peso de la carga de bolas y el tamaño del molino.

2.2.7.2.3 Molino de Barras. El molinero de barras es empleada principalmente hacia la molienda primaria, desempeñando un papel intermedio entre las etapas de chancado y molienda. Su uso es especialmente relevante cuando el mineral presenta componentes como arcilla o panizo, que complican el proceso de molienda fina. Estos molinos se distinguen por su relación de longitud a diámetro del cilindro, la cual típicamente varía entre 1.5 y 1. Esto se debe a las limitaciones mecánicas en la longitud de las barras, lo que a su vez impone restricciones en sus dimensiones y capacidad operativa. Debido a estas limitaciones, el molino de barras ha ido perdiendo popularidad en el ámbito de la molienda, como se ilustra en la figura 2.4, en comparación con otros tipos de molinos que ofrecen una mayor flexibilidad y eficiencia.

Figura 2.3

Interior del molino de barras

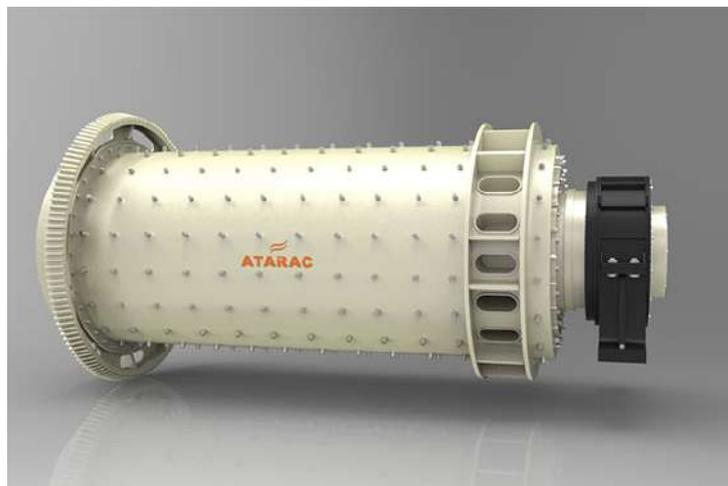


Nota. Tomado de Molinos de barra para la industria minera [Imagen], por MIMESE, 2019, (<https://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-de-bolas-mrdmre/>).

El proceso de molienda de barra se utiliza ampliamente en sectores que requieren productos de minerales, piedra y arena artificial con granulidad uniforme y poco polvo como en minería de metales negros y no ferrosos, de minas no metálicas, de cristal y materiales de construcción, por ejemplo, en la producción de arena artificial como materia prima de vidrio, preparación de carbón en industria química, etc. (Maquinaria Pesada de ATAIRAC DE SHANGHSI S.A., 2017).

Figura 2.4

Exterior del molino de barras



Nota. Tomado de Molino de barras, [Imagen], por Maquinaria Pesada de ATAIRAC DE SHANGHSI S.A., 2018, (<http://atairaces.industrialmanufacturer.net/products/Crusher/molino-debarras-de-alta.html>).

2.2.7.2.4 Molino SAG. El significa semiautógeno, es un equipo diseñado para la molienda de minerales mediante la caída en cascada de fragmentos de mineral previamente triturado, ya sea con la adición de un medio de molienda de hierro o acero, o sin él. Este tipo de molino es especialmente útil cuando los fragmentos de mineral son lo suficientemente resistentes como para llevar a cabo el proceso de molienda por sí solos. Su función principal

es triturar y procesar las rocas minerales, si bien también incorpora hasta un 15% de bolas de acero que ayudan a optimizar la molienda. Después de la etapa de trituración, el mineral se prepara para una molienda final en un molino de bolas. Para asegurar la calidad del proceso, el producto resultante pasa a través de una gran zaranda vibratoria que clasifica las partículas según su tamaño; aquellas que cumplen con las especificaciones adecuadas son transportadas al molino de bolas para la molienda final. Por otro lado, las partículas que son demasiado grandes son procesadas en una trituradora excéntrica pequeña antes de ser reincorporadas al molino SAG o al molino autógeno. Este esquema de operación está diseñado para maximizar la cantidad de mineral alimentado y, simultáneamente busca, disminuir el uso energético asociado al proceso (ver figura 2.5). (911 Metallurgist, recuperado <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/molinos-sag-o-ag/>).

Figura 2.5

Exterior de un molino SAG



Nota. Tomado de Molino SAG [Imagen], por Minera San Cristóbal, 2011, (<https://www.flickr.com/photos/minerasancristobal/6344648114>).

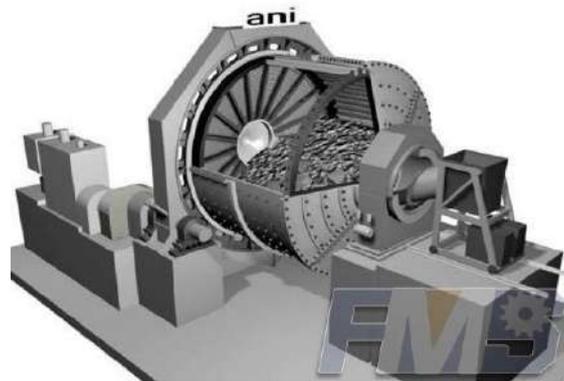
2.2.7.2.5 Molino Autógeno. Su particularidad radica en que constan con una proporción longitud-diámetro de 0,521, la cual se debe al diámetro considerable necesario para

incrementar el efecto de "cascado" de los fragmentos de minerales de gran tamaño que participan en el proceso de molienda (como se puede apreciar en la siguiente figura 2.6).

La molienda autógena consiste en el procedimiento de reducción de tamaño que se caracteriza principalmente por el uso de los propios fragmentos de mineral que se están tratando como medios de molienda. En este método, los trozos de mena, al ser golpeados y friccionados entre sí, provocan la reducción de su tamaño sin necesidad de la incorporación de elementos molidores externos. En el caso en que se utilicen piedras redondeadas, que previamente han sido seleccionadas de un ciclo de molienda anterior, se hace referencia a este proceso como molienda por guijarros o pebbles, una técnica que también se utiliza para optimizar la eficiencia del proceso de molienda. (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 169).

Figura 2.6

Estructura de un molino autógeno



Nota. Tomado de Molienda [Imagen], por Wikipedia, 2013, (<http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Molienda>).

2.2.8 Carga de un molino

Para obtener un tamaño adecuado de mineral o tener un grado de liberación se debe tener una adecuada carga de mineral, suministro de agua y medios de molienda.

2.2.8.1 Carga de Mineral. Es importante conocer la cantidad de mineral que se trata, es decir el tonelaje de molienda que se opera. Dicha carga debe tener una cantidad y peso constante, el cual debe de ser controlado para que la operación sea uniforme.

Por lo general, se monitorea el peso que se coloca en la balanza con el fin de evitar cualquier problema. Sin embargo, esto puede resultar en una variación en el tonelaje, lo que puede afectar el control y los cálculos metalúrgicos. Es importante que la carga de mineral cumpla con ciertos requisitos, como tener un peso constante y una cantidad adecuada. Por qué deberá ser supervisada continuamente para lograr asegurar de que sea lo más uniforme y pesada posible. Si se agrega una cantidad escasa de carga, perderá la fuerza para realizar la molienda y se desperdician bolas y chaquetas. Por otro lado, si se agrega una cantidad considerable de carga, habrá un exceso de carga en el molino y esto generará que se pierda tiempo y capacidad de molienda al descargar (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 162).

2.2.8.2 Suministro de Agua. La regulación de los suministros de agua al molino se realiza a partir de la monitorización de la consistencia de la pulpa en la salida. En este punto el mineral junto con el agua ingresa al molino, se genera una mezcla líquida que tiende a adherirse a las bolas utilizadas en el proceso. Al mismo tiempo, el agua juega un rol crucial en facilitar el avance de la carga dentro del molino, asegurando que el material se procese adecuadamente antes de ser expulsado.

Si se inyecta una cantidad excesiva de agua, esto puede resultar en un lavado del material de molienda, lo cual impide que las bolas efectúen una reducción efectiva del mineral. Esto también conlleva a una disminución en el proceso de residencia del mineral dentro del molino, lo que provoca que el cargamento sea expulsado fácilmente con un tamaño de partícula más grande de lo deseado. Por el contrario, si el suministro de agua es insuficiente, el movimiento

de la carga se vuelve lento y el barro generado se espesa, resultando en una molienda ineficiente. Para mitigar este tipo de problemas, es necesario añadir agua al ingreso del molino y controlar la consistencia de la mezcla para alcanzar un estado equitativo. De no hacerlo, existe el riesgo de sobrecargar el sistema y generar una circulación anormal de la carga (Bravo, p. 11).

2.2.8.3 Medios de molienda. Se lleva a cabo utilizando medios como barras y bolas, que generalmente están fabricadas de acero moldeado, no obstante, en ocasiones recurre al fierro fundido. La cantidad de medios de molienda requeridos depende de varios factores, incluyendo las dimensiones y el diseño del molino, así como el espacio que estos ocuparán internamente. Es esencial que el molino disponga de la cantidad adecuada de medios de molienda para garantizar su eficiencia operativa. El consumo de bolas está influenciado por factores tales como la firmeza del mineral, su coeficiente de abrasión, la dimensión del mineral que se alimenta y el tamaño de partícula final que se busca obtener. (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 163).

2.2.9 Zonas del Interior de un Molino

Sobre la función del instrumento llamado “molino”, ya sea de barras o bolas, se llega a identificar distintas áreas que se relacionan con la cantidad de material y la velocidad de rotación, aspectos clave para el proceso de molienda. Cabe mencionar que la humedad del material también juega un papel fundamental en las clases de molienda y los efectos que se espera obtener, lo que hace que sea una variable de gran importancia.

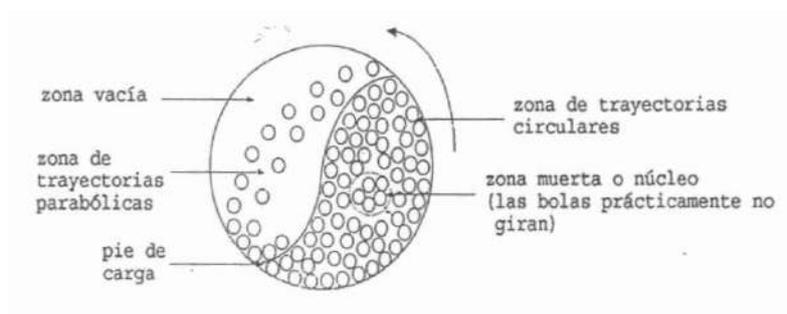
Los factores principales que se toman en consideración para la operatividad de un molino son el grado de capacidad de llenado, la velocidad de revolución y la humedad de los minerales que han de molerse. La humedad está definida por la relación entre la cantidad de agua con los

sólidos de la alimentación. En la figura 2.7, se puede observar que el núcleo del molino no tiene mucha actividad de molienda, mientras que el área del pie del cargamento es la más activa y puede fragmentar más material. La figura muestra bolas de diámetro uniforme, pero en un molino real, los diámetros de las bolas varían desde el más pequeño hasta el nominal que se utiliza para el cambio o reposición. (Blanco, 2017, p. 5).

2.2.9.1 Grados de llenado del molino. Hace referencia a la simetría del cuerpo interno del molino que está llenado por la carga, la cual incluye tanto la mena que se va a procesar como los elementos que se utilizan para moler. Este factor es crucial ya que impacta de manera directa en el rendimiento del molino. Al examinar cómo varía la energía que fue utilizada por el molino en relación con el nivel de llenado, se puede observar que se alcanza un punto óptimo cuando se utiliza entre el 50% y el 55% del volumen interno. Sin embargo, al sobrepasar este rango, la potencia que se requiere para operar el molino comienza a decrecer, llegando a ser nula cuando se alcanza un grado de llenado del 100%. Esto sugiere que una sobrecarga no solo es ineficaz, sino que puede perjudicar el funcionamiento del molino, por lo que es esencial mantener un grado de llenado adecuado para maximizar la eficiencia.

Figura 2.7

Zonas del interior de un molino (sección transversal)



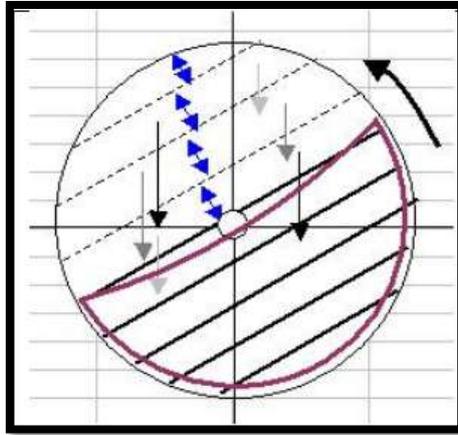
Nota. Tomado de Curso de molienda [Imagen], por Arriaga, M. G., 2013, (<https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633>).

En la figura 2.8, se logra apreciar el procedimiento de llenado del molino, que llega a estar entre el 50% y el 55% de su capacidad. A medida que se incrementa el llenado, se introduce una masa que ejerce resistencia al movimiento en el cuadrante que va desde 0 a 90°. Sin embargo, en la parte contraria al eje de simetría vertical, se presenta una mayor cantidad de masa que impulsa el movimiento en el cuadrante que abarca del 90° al 180°. Esta diferencia en el comportamiento del material se intensifica conforme se llena el molino, hasta el punto en que, al alcanzar un llenado completo, la acción de molienda se vuelve inexistente. Estos hallazgos están en concordancia con las observaciones realizadas por Birebent (Blanco, 2017, p. 4).

En la práctica, el nivel óptimo de llenado utilizado suele oscilar entre el 40% y el 55%, siendo el 45% el porcentaje más comúnmente adoptado. Este nivel de llenado no solo incluye los cuerpos de molienda, como bolas o barras, sino también el mineral que se va a procesar. Los cuerpos de molienda ocupan un espacio significativo dentro del molino, y es entre ellos donde se introduce el material a triturar. Para calcular el peso del material de molienda, se consideran los espacios vacíos que quedan entre las barras o las bolas. Se estima que estos huecos representan aproximadamente el 20% del volumen total en el caso de las barras, y el 40% en el caso de las bolas, como se detalla en la tabla 2.1. Esto resalta la importancia de la geometría particular de los elementos de molienda en el rendimiento y la eficiencia del proceso.

Figura 2.8

Aumento del grado de llenado en el interior de un molino (sección transversal)



Nota. Tomado de Curso de molienda [Imagen], por Arriaga, M. G., 2013, (<https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633>).

Tabla 2.1

Distribución de carga en el interior de un molino

ELEMENTO	% DE HUECOS	PESO DE LOS ELEMENTOS MOLTURADORES	OBSERVACIONES
Bolas	40	$P_{\text{bolas}} = V_{\text{mol}} * 0.45 * 0.6 * \delta_b$	δ_b : Densidad de las bolas, materiales molturados, para el acero 7.85 kg/dm ³
Barras	20	$P_{\text{barras}} = V_{\text{mol}} * 0.45 * 0.8 * \delta_b$	δ_b : Densidad de las barras
Carga de molino	0	$P_{\text{carga}} = V_{\text{mol}} * 0.45 * (0.6 * \delta_b + 0.4 \delta_m)$ $= V_{\text{mol}} * 0.45 * (0.8 * \delta_b + 0.2 \delta_m)$	Molino de bolas Molino de barras δ_m : Densidad del mineral

Nota. Obtenida de Pulpas [Tabla], por Blanco, A., 2017, (http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/693/course/section/703/3._pulpas.pdf).

2.2.10 Velocidad de Giro o Rotación

Es un aspecto fundamental que influye tanto en la eficiencia como en el funcionamiento del proceso de reducción de tamaño del material. Cuando el molino gira alrededor de su eje, genera

una corriente al interior de la carga que contiene el mineral a procesar. Este movimiento sigue hasta que la energía ejercida por el peso de la carga se iguala a la potencia que el motor transmite, lo que permite que los diferentes componentes de la carga se desplacen de manera relativa entre sí. Este desplazamiento genera fenómenos como la fricción y los impactos, que son esenciales para descomponer el mineral. Además, este proceso también ocasiona un desgaste gradual de los elementos de molienda, como las bolas o barras, que eventualmente necesitan ser sustituidos para mantener la eficacia del proceso. Así, el control adecuado de la velocidad del molino se vuelve crucial para optimizar tanto la calidad de la molienda como la duración de los componentes del equipo.

La rotación del molino es generada por diferentes mecanismos de conexión entre el motor y el molino en sí, los cuales varían según su tamaño. De manera general, estos mecanismos pueden clasificarse en:

- Para molinos pequeños de hasta 50 kW, se utiliza un mecanismo que utilice poleas y correas trapezoidales en sentido contrario.
- Para molinos medianos que giran más lentamente (en promedio a 20 rpm) se utiliza un mecanismo de motor, reductor, piñón (que se encuentra fuera del molino) y una corona dentada concéntrica con el molino para su funcionamiento.
- Los molinos grandes emplean un mecanismo de motor síncrono, piñón y corona calada para generar la tracción necesaria sobre el molino.
- Para molinos de gran tamaño, que tienen más de 6 o 7 metros de diámetro, se utiliza un motor síncrono de una considerable dimensión que está conectado al molino. El propio molino actúa como eje y tiene una zona embobinada que se mueve con él. Al encender el motor, este hace girar a la máquina.

Los sistemas implementados para acoplar consiguen estar equipados con un sistema hidráulico que facilita un arranque más gradual y reduce las sacudidas durante el funcionamiento del sistema. Además, cuando hay carga en el sistema, es posible emplear diferentes clases de ordenadores de velocidad estáticos, como los variadores, que permiten un control más preciso y suave de la velocidad de operación (Blanco, A. 2017 p. 7).

2.2.11 Velocidad Crítica

Se refiere a la celeridad de revolución de un molino en el que la primera línea de bolas entra en conexión con la cubierta o los elementos de protección que son creadas para este tipo de máquina, dependiendo del diseño del equipo. En este punto, debido a la fuerza centrífuga, las bolas tienden a adherirse a la carcasa, lo que resulta en la pérdida del efecto de molienda, ya que permanecen pegadas durante un ciclo completo de rotación. Aunque esta velocidad es un concepto teórico, puede experimentar ligeras variaciones debido al deslizamiento y al arrastre que ejercen los forros del molino, por lo que siempre se toma como una medida de referencia en el diseño y operación del molino.

Se define específicamente a la velocidad que se adquiere en la cual una partícula infinitesimal situada en el borde interno del molino experimentaría una fuerza centrífuga suficiente para ser expulsada. Se califica de "crítica" porque indica la mínima velocidad necesaria para iniciar este efecto; cualquier velocidad que supere este umbral provocará que las bolas en la fila exterior y aquellas adyacentes a éstas se adhieran a la carcasa, impidiendo así una operación eficiente del proceso de molienda. Para calcular esta velocidad crítica, se utiliza como base el diámetro del molino, como se ejemplifica en las ecuaciones 4 y 5. Esta comprensión es vital para optimizar el rendimiento del molino y garantizar una operación efectiva.

Cuando se llega a la velocidad crítica en un molino, su capacidad de molienda se ve afectada significativamente. Esto se debe a que un porcentaje de los elementos utilizados para moler no realizan ninguna función efectiva en el proceso. En este punto, la eficiencia del molino disminuye, lo que puede repercutir en la calidad y cantidad del material molido (Blanco, 2017, p. 8).

El valor de la velocidad crítica es:

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$\omega_c = \frac{4.43}{\sqrt{D}} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

V_c : Velocidad crítica en rpm

ω_c : Velocidad crítica en rad/s

D : Diámetro interno del molino en metros (m)

2.2.12 Análisis Granulométrico

Se refiere a los métodos, ya sean manuales o mecánicos, que permiten separar las partículas de un agregado según su tamaño. Este proceso es esencial para determinar el peso que cada fracción de tamaño contribuye al peso total de la muestra. Para llevar a cabo esta clasificación por tamaño, se utilizan mallas con diferentes aberturas (ver figura 2.9), cada una de las cuales indica el tamaño máximo de agregado que puede retener. En la práctica, el pesaje de las

diferentes fracciones se expresa como porcentajes de la cantidad total de material retenido en cada malla. Estos porcentajes pueden ser tanto parciales como acumulativos, y son estos últimos los que se utilizan para elaborar la gráfica de la distribución del material, conocida como granulometría (Universidad Centro Americana, p. 2).

2.2.13 Tiempo de Molienda

El tiempo que el mineral permanece en el molino es un factor crucial que determina la finura de las partículas que se liberan durante el proceso de molienda. Existe una relación directa entre el tiempo de permanencia en el molino y el nivel de finura alcanzado; sin embargo, si este tiempo se extiende demasiado, puede resultar en una disminución del tonelaje de mineral que se procesa. La duración de la permanencia del mineral se controla mediante la cantidad de agua que se agrega al molino: un ingreso reducido de agua tiende a aumentar el tiempo de permanencia, mientras que una mayor cantidad de agua resulta en un menor tiempo de permanencia (Bravo, 2017, p. 12).

Figura 2.9

Serie de tamices



Nota. Tomado de Granulometría (tamices) [Imagen], por P y S Equipos, 2020, (<https://pys.pe/producto/granulometria-tamices/>).

“El tiempo de permanencia de los materiales dentro de un molino está influenciado por varios factores, como las dimensiones del cilindro, el volumen efectivo del mismo y el caudal de circulación. En este sentido, la alteración del caudal se logra a convertir en un instrumento fundamental y permitir la regulación del tamaño de las partículas, además de permitir que el molino se ajuste a las variaciones en las demandas de producción” (Blanco, 2017, p. 5).

“La duración de residencia del material adentro del molino (reactor) dependera de algunos factores como la porosidad de la carga de bolas dentro del molino, la densidad del material, etc.” (Rivera, 2003, p. 206).

2.2.14 Cinética de Molienda

Es la fracción de partículas que se fracturan por unidad de tiempo, es decir, la velocidad fraccional con que se rompen las partículas.

Cada determinado tiempo ocurre una disminución del tamaño de partículas, por tanto, cada instante tiene relación directa con el nuevo tamaño de mineral que se genera en molienda. A este fenómeno se le denominará “rapidez de fractura”.

2.2.14.1 Rapidez de Fractura. El poder llegar a reducir las dimensiones del mineral es representada por un proceso de primer orden, como se logra apreciar en la siguiente ecuación:

$$\frac{dm_i}{dt} = -k_i m_i \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

dm_i : Diferencial de masa

dt : Diferencial de tiempo

k_i : Constante de rapidez de primer orden

m_i : masa inicial (kg)

La constante de rapidez del primer orden, conocida como " k_i ", representa la tasa de fractura en relación con el tamaño inicial de la partícula. Esta tasa de fractura establece un vínculo directo entre k_i y el tamaño inicial del material (Rivera, J. 2003, p. 253).

Es importante destacar que la velocidad de fractura está fuertemente influenciada por dos factores principales: la firmeza y resistencia del material involucrado y la eficacia del equipo utilizado en el proceso. Estos elementos son determinantes para el número de eventos de fractura que ocurren por unidad de tiempo. En este contexto, una fracción del material en un determinado rango de tamaño experimenta un proceso de reducción muy fina debido a la fractura, mientras que otras fracciones están siendo generadas a partir de la ruptura de partículas que originalmente eran más grandes (Rivera, 2003, pp. 253-254).

2.2.15 Potencia Requerida

2.2.15.1 Índice de Trabajo (Work Index). Se describe como la cantidad total de energía (kW-hr/TC) necesaria para procesar una materia prima con partículas de gran tamaño, de manera que el 80% del material resultante pueda atravesar un tamiz con una abertura de 0.1 milímetros. En términos cuantitativos, este índice indicara la energía que se necesita para conseguir reducir un material con una dimensión inicial técnicamente infinita hasta una dimensión en un rango de 0.08 a 0.1 milímetros (Pereyra & Quevedo, 2009, p. 36).

2.2.15.2 Importancia del Índice de Trabajo. Es importante porque los cálculos nos permiten evaluar los costos de energía consumida, medir el desgaste de maquinaria y su

respectivo mantenimiento, decidir el tamaño de motor, evaluar los efectos de las variables de operación (velocidad y revestimiento), etc.

2.2.16 Pulpa

Se define como una combinación de partículas sólidas suspendidas en un líquido, formando así una suspensión. En el ámbito de procesamiento de minerales, las partículas sólidas presentes en estas suspensiones están compuestas por diversas especies mineralógicas, mientras que el líquido que las acompaña es comúnmente agua, a menudo complementada con ciertas sustancias químicas disueltas. A este tipo de suspensiones se les conoce como pulpas metalúrgicas o simplemente pulpas.

Contiene partículas minerales que requieren ser atendidas; en el procedimiento de extracción de metales, si la pulpa resulta ser rica en las especies mineralógicas que tienen un valor económico significativo, se clasifica como un concentrado. Por el contrario, el residuo de la pulpa que presenta una baja proporción de especies valiosas se denomina rechazo, cola o relave. Además, existe un tercer tipo de producto que tiene un contenido intermedio de elementos valiosos, y a menudo se le designa como mixtos (Rivera, 2003, p. 351).

2.2.16.1 Densidad de Pulpa. Es una medición matemática que describe la composición de una mezcla, generalmente formada por una fracción sólida de partículas de granulometría casi uniforme y otra fracción líquida, que en la gran cantidad de casos es agua. La mezcla presenta características particulares, tales como la gravedad específica, el peso y el volumen, las cuales suelen expresarse en términos porcentuales de peso o volumen (Arslan, 2011). La densidad de pulpa se cuantifica frecuentemente en cantidades de gramos por centímetro cúbico o kilogramos por cada litro, y es una propiedad esencial para conseguir el

comportamiento de la pulpa en los diversos métodos de separación y concentración en la minería.

2.2.17 Liberación

Es un factor crucial en el proceso de separación de las fracciones que poseen valor económico y aquellas que se consideran desechos. Para lograr una separación efectiva, es esencial que las partículas de minerales valiosos se encuentren despojadas de los granos que no tienen valor económico (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 57).

2.2.17.1 Grado de Liberación. Se le establece como a la proporción porcentual de un mineral específico que se encuentra en forma de partículas libres, es decir, aquellas que solo contienen ese mineral en particular. Por otro lado, existen partículas que contienen tanto minerales valiosos como desechos, las cuales se etiquetan como partículas no liberadas o intermedias. Estas últimas presentan un desafío significativo durante el proceso de separación, debido a que la eficacia de la separación mineral requerirá en gran medida del manejo adecuado de estas partículas intermedias (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 57).

El grado de liberación es un dato numérico que indica cuántas partículas minerales "libres" se pueden obtener durante la molienda. Para determinarlo, es necesario realizar estudios microscópicos, siendo esencial seguir un enfoque técnico y científico riguroso en este proceso.

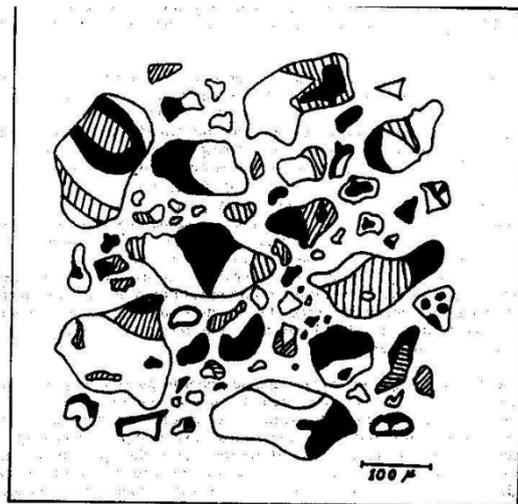
Al dividir las muestras de mineral en partículas y elaborar una sección pulida, podemos ver bajo el microscopio que las partículas son principalmente de diferentes minerales en tamaños grandes y tienden a ser de un solo mineral en tamaños pequeños. No es factible moler en exceso para una liberación total debido al alto costo y la producción excesiva de partículas pequeñas. En la figura 2.10, podemos ver un estado donde no hay problema en considerar las partículas

de un solo mineral como mixtas. Al reducir las dimensiones de las partículas mixtas, será forzoso designarles una adecuada cantidad de liberación. Al seguir reduciendo el tamaño, las partículas de minerales más grandes tienden a quedar libres.

Las partículas mixtas representan diferentes etapas en las que los minerales han alcanzado cierto grado de liberación en un momento dado. Una partícula mixta experimenta reducciones sucesivas en tamaño debido a la acción de un agente externo (trititación y/ o molienda). Este el comportamiento estará determinado por las propiedades internas de la partícula (composición, tamaño, nivel de cristalinidad, etc.), de las variedades minerales presentes, de igual manera los aspectos geométricos de la partícula, así como de las propiedades físico-mecánicas del agente externo (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 65).

Figura 2.10

Partículas libres y mixtas producidas durante la fragmentación de una muestra en la que ocurren los especies minerales X, Y y Z

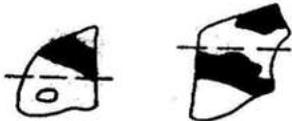
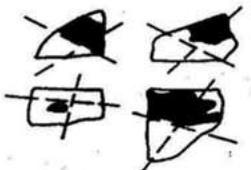
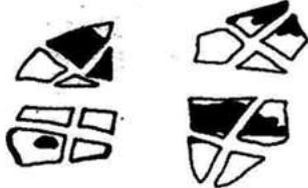


Nota. Tomado de Granulometría (partículas mixtas) [Imagen], por P y S Equipos, 2020, (<https://pys.pe/producto/granulometria-tamices/>).

En la figura 2.11, podemos observar las distintas etapas de una partícula la cual es sucesivamente dividida (I, II, III, IV), donde es necesario evaluar la liberación en cada una de las etapas, así como la liberación específica de cada una de las especies minerales que lo componen.

Figura 2.11

Diversas etapas sucesivas durante la reducción de tamaño de una partícula mixta constituida por las especies minerales X e Y.

<p>I</p> 	<p>PARTICULA A: "PARCIALMENTE LIBERADA", TANTO PARA LA ESPECIE MINERAL X COMO PARA LA Y.</p>
<p>II</p> 	<p>PARTICULAS A y B: "PARCIALMENTE LIBERADAS" PARA LAS ESPECIES MINERALES X e Y. EN LA PARTICULA A, UNA PORCION DEL AREA OCUPADA POR X NO TIENE CONEXIÓN CON LA PERIFERIE (LIBERACIÓN = 0%)</p>
<p>III</p> 	<p>PARTICULAS A, B, C, "PARCIALMENTE LIBERADAS" PARA X e Y; PARTICULA D "PARCIALMENTE LIBERADA" PARA Y, "NO LIBERADA" PARA X.</p>
<p>IV</p> 	<p>PARTICULA C "LIBERADA" PARA X; PARTICULA A, D, E, H, I, J, K "LIBERADAS" PARA Y. PARTICULAS B, F, G, M, N "PARCIALMENTE LIBERADAS" PARA X e Y. PARTICULA D DEBE SER CONSIDERADA "LIBERADA" PARA MINERAL Y, PORQUE X OCUPA AREA MINIMA (5%). PARTICULA L "PARCIALMENTE LIBERADA" PARA Y, "NO LIBERADA" PARA X.</p>

Nota. Tomado de Granulometría (partículas liberadas parcialmente) [Imagen], por P y S Equipos, 2020, (<https://pys.pe/producto/granulometria-tamices/>).

Si analizamos el proceso en el que se generan partículas de dimensiones prácticamente uniformes en cada fase, es posible notar que la liberación que se observa de cada una de estas partículas es, sin embargo, diversa. Esto nos lleva a la conclusión de que, para un tamaño específico de grano, las partículas diferentes exhiben distintos niveles de liberación. En este sentido, resulta conceptualmente erróneo utilizar la expresión "tamaño de liberación" como un

indicador predictivo. Suponer que, al triturar a un tamaño determinado, todas las partículas alcanzarán una liberación específica es un enfoque incorrecto, ya que en la práctica se obtiene una población de partículas heterogéneas. De este modo, es crucial calcular el promedio de las diversas magnitudes de liberación que cada tipo mineral puede lograr; a este concepto le asignaremos el nombre de “grado de liberación”. Esto implica que, aunque se alcance un tamaño de grano homogeneizado, la variabilidad en la liberación de los distintos componentes minerales puede afectar significativamente el rendimiento del proceso.

2.2.17.2 Determinación del Grado de Liberación. Considerando que el porcentaje de volumen corregido es susceptible a reajustes, por tratarse de partículas mixtas en las que no es posible su identificación plenamente liberada, el grado de liberación se determina con la ecuación 7, (Rivera, 2003, p 30).

$$GLA(A/B) = \frac{(\%SupA_1 * perA_1)(\%SupA_n * perA_n)}{TP(A/B) * 100} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

GLA : Grado de liberación para la especie mineral A en partículas mixtas de tipo A/B (en %)

$\%SupA_1, \%SupA_2, \%SupA_n$: Porcentaje de área ocupada por la especie mineral A, en cada una de las partículas registradas del tipo A/B tomado en fracción centesimal.

$perA_1, perA_2, perA_n$: Porcentaje de periferia ocupada por la especie mineral A en cada partícula individual del tipo A/B.

Cabe resaltar que la ecuación mostrada a continuación es tomada como un modelo ideal para muestras con dos especies mineralógicas, siendo necesario para un cálculo preciso y real el uso de herramientas y equipos (microscopio petrográfico de barrido), por tanto, se opta por el uso de laboratorios externos que cuenten con la tecnología adecuada para la determinación del grado de liberación (cuantitativo).

2.2 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Oro

El oro es un elemento químico que tiene un número atómico de 79. Se trata de un metal precioso que se caracteriza por su distintivo color amarillo, como se puede ver en la figura 2.12. Su símbolo químico es Au. Este elemento se encuentra en estado sólido y presenta una punto de fusión de 1064 °C y una temperatura de ebullición de 2856 °C, lo que indica su alta resistencia térmica. El oro es conocido por ser un excelente conductor de calor y electricidad, además de ser el metal más dúctil y maleable que se conoce, lo que permite su transformación en láminas extremadamente delgadas o en hilos finos sin que se rompa. En su estructura, el oro exhibe una red cristalina cúbica u octaédrica, y su huella característica es de un color amarillo brillante. Este metal es notablemente resistente a la oxidación y posee un atractivo brillo metálico, como se ilustra en la figura 2.12. Es interesante mencionar que el oro se disuelve en una combinación de ácido clorhídrico y ácido nítrico, que es comúnmente nombrada como agua regia, lo que es un dato relevante en procesos de purificación y análisis químico (Pellant, 1992, p. 46).

Presenta una notable resistencia a varios ácidos, incluyendo el ácido clorhídrico, nítrico y sulfúrico, tanto a temperaturas normales como a 100 °C. Asimismo, se muestra resistencia a la agresión de los ácidos bromhídrico, yodhídrico y fluorhídrico. Sin embargo, es importante destacar que el ácido selénico puede atacar al oro a temperaturas superiores a 230 °C, y una

combinación de ácido clorhídrico y ácido nítrico, denominado agua regia, tiene la capacidad de disolverlo con facilidad. El oro también puede ser atacado por el ácido telúrico con presencia de ácido sulfúrico. En cuanto a los halógenos, todos representan una amenaza para el oro: el bromo es el más reactivo, logrando disolver parte del metal incluso a altas temperaturas ambiente. Aunque el cloro es un poco menos activo en estado seco, en condiciones de humedad o a temperaturas elevadas, muestra una capacidad de ataque considerable. Cualquier combinación de sales halógenas junto a agentes oxidantes que liberen un halógeno puede disolver el oro. En contraste, el oro no interactúa con el azufre y no se mezcla en dióxido de azufre., aunque puede ser atacado ligeramente por sulfuros alcalinos. En presencia de oxidantes, el ácido cianhídrico y los cianuros alcalinos generan una reacción leve, al igual que el mercurio, que se activa rápidamente, formando amalgama con el oro. En cuanto a la propiedad del mercurio es aprovechada en la minería para recolectar el oro en partículas finamente divididas de arenas, gravas y minerales pulverizados (Ros, A., 2017, pp. 3 - 4).

Figura 2.12

Oro nativo en mineral de cuarzo



Nota. Obtenido de Minerales/ Estados Unidos de América (USA) [Imagen], por Dariah, G., 2016, (<https://www.pinterest.es/pin/475692779371790419/?lp=true>).

Para extraer oro de depósitos aluviales, se puede emplear un método de concentración gravimétrica, que se fundamenta en la variación de densidad entre el oro, que tiene una densidad de 19.3 g/cm^3 , y la ganga, que presenta una densidad aproximada de 2.6 g/cm^3 . Este procedimiento permite separar eficazmente el oro del material no valioso, optimizando así la recuperación del metal precioso.

2.3.2 Cuarzo

Es un mineral que se compone de sílice (SiO_2) y es uno de los minerales más conocidos en la naturaleza. Generalmente, se presenta en forma de prismas hexagonales que terminan en estructuras romboédricas o piramidales. Frecuentemente, las superficies del cuarzo presentan estrías, y los cristales suelen aparecer maclados o deformados. Este mineral también puede encontrarse con diferentes formas entre las que se incluyen hábitos masivos, granulares, concretos y estalactíticos. Se forma en diversos tipos de rocas, incluidas las ígneas, metamórficas y sedimentarias, y se puede localizar en filones que contienen menas metálicas. Se distingue por poseer una densidad de 2.65 g/cm^3 , un punto de fusión que alcanza los $1713 \text{ }^\circ\text{C}$ y una fractura de tipo concoidea. En relación a su dureza, el cuarzo ocupa el grado 7 en la escala de Mohs, lo que le permite rayar materiales como el vidrio y los aceros comunes; su huella es de color blanca y posee un sistema cristalino trigonal (Pellant, C. 1993, p. 86).

2.3.3 Molienda de Minerales

Se refiere a un proceso que disminuye las dimensiones de las partículas del mineral hasta alcanzar una granulometría específica, que puede ser deseada para fines industriales o de extracción. Este proceso implica el uso de distintos tipos de maquinaria que aplican diferentes métodos, como la fractura, el astillamiento y la abrasión, con el objetivo de liberar partículas valiosas de las que no tienen valor económico. Típicamente, la molienda es precedida por una

etapa de trituración, lo que resulta en que el tamaño de los minerales que ingresan a la fase de molienda sea relativamente uniforme. Las dimensiones iniciales pueden cambiar, desde un tamaño F80 de 20 mm hasta aproximadamente 5 mm, lo cual permite obtener un producto final con un P80 que suele oscilar entre -200 mallas por cada pulgada lineal (74 micrómetros) y -100 mallas (147 micrones) (Bazan, 2019, p. 23). Este proceso es fundamental en la preparación de minerales para su posterior procesamiento, ya que mejora la eficiencia en la recuperación de metales y otros recursos (Bazan, 2019, p.23).

En general existen tres grados de molienda:

- Molienda gruesa que se obtiene un producto de 3.2mm a 0.5mm.
- Molienda media que se obtiene un producto de 0.49mm a 0.1mm.
- Molienda fina que se obtiene un producto inferior a 0.1mm.

“El fin es lograr un control riguroso sobre el tamaño del producto resultante. Este aspecto es fundamental, ya que se sostiene con frecuencia que una molienda adecuada es esencial para maximizar la recuperación de la especie valiosa o útil. En otras palabras, el grado de molienda influye directamente en la eficiencia con la que se obtienen los materiales deseados, lo que subraya la relevancia de esta fase en la cadena de procesamiento de minerales” (Pereyra & Quevedo, 2009, p. 42).

La efectividad de la operación de molienda depende de diversos factores como son:

- Tamaño de entrada y salida del mineral.
- Tamaño del molino.
- Volumen de carga moledora.
- Velocidad del molino.

- Cantidad de mineral a reducir.
- Tiempo de residencia del mineral en el molino.
- Molienda en vía seca o en húmeda.

Una molienda adecuada nos dará un grado de liberación óptimo, para lograr una recuperación de la parte valiosa de la mena. También nos permite establecer parámetros entre las distintas variables con el tamaño de partícula final, y que está relacionado directamente con los costos de operación.

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis General*

- A un tamaño de 60% a -200 malla ASTM, se libera el oro en un 90% del mineral de oro de una matriz de cuarzo.

3.1.2 *Hipótesis Específicas*

- Se obtiene un grado de liberación adecuado con una densidad de pulpa de 1850 gr/L.
- Se obtiene un grado de liberación óptimo en un tiempo de 25 min.

3.2 Variables

3.2.1 *Identificación de Variables*

3.2.1.1 Variable Dependiente.

- Porcentaje de grado de liberación de las partículas de mineral de oro.

3.2.1.2 Variable Independiente.

- Densidad de pulpa
- Tiempo de molienda

3.2.2 *Indicadores*

- **Grado de liberación:** porcentaje liberado de las partículas valiosas de los estériles.
- **Densidad de pulpa:** gramos de mineral por un litro de agua.
- **Tiempo de molienda:** intervalo de tiempo expresado en minutos.

3.2.3 Operacionalización de Variables

Tabla 3.1

Operacionalización de Variables

Variable Nominal	Tipo	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Dimensión	Unidad	Técnicas e Instrumentos de Medición
Densidad de pulpa	Independiente	Se trata de una combinación que consiste en sólidos de tamaño casi uniforme, mezclados con un líquido.	Es la relación matemática de la cantidad de mineral que se encuentra en un litro de agua	Gramos de mineral por litro de agua	1650-1850	gr/L	Balanza Marcy
Tiempo de molienda	Independiente	Se refiere a la duración durante la cual el mineral permanece en el interior del molino. Este tiempo es crucial, ya que influye en la eficacia del proceso de molienda y en la liberación de los minerales valiosos.	Es el tiempo que se encuentra el mineral en molienda.	Intervalo de tiempo expresado en minutos	0-25	min.	Determinar el intervalo de tiempo con un cronómetro
Porcentaje de Grado de liberación	Dependiente	Es el porcentaje de liberación que se da entre partículas valiosas de estériles	Es la relación del tanto por ciento de mineral valioso liberado por ganga.	Porcentaje de liberación de oro en mineral de cuarzo	60-100	%	Observación por microscopía

Nota. La tabla sintetiza definiciones para el desarrollo y experimentación de las variables tomadas para la investigación. Obtenida de Compendio de conminución (p. 30), por J. Rivera, 2003, Editorial UNMSM.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Ámbito de la investigación

El mineral utilizado para el presente trabajo es proveniente de la localidad de Waysampillo, distrito y provincia de Paucartambo, región del Cusco; dicho mineral perteneciente a la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A.; para lo cual se realizará los exámenes correctos en el laboratorio de procesamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSSAC.

4.1.1 Información de la empresa

- **Razón social:** Corporación Aurífera Electrum S. A.
- **RUC:** 20606099721
- **Condición:** Activa
- **Actividad comercial:** Extracción de otros minerales metalíferos no ferrosos
- **Domicilio legal:** Mza. D Lote 35 Asc. La Planicie, San Sebastián - Cusco - Cusco

Dicha empresa se dedicará a la explotación y procesamiento de minerales metálicos no ferrosos, poniendo como prioridad los minerales auríferos y argentíferos; para lo cual dicha empresa está en la etapa de inversión tanto en el tema de operaciones mina y operaciones planta, específicamente en la preparación de labores, explotación y acarreo de mineral; y en instalar la planta en beneficio junto a todos los permisos legales en ambos casos.

La ubicación específica de la planta de beneficio será en el sector escalera, comunidad campesina de Marcachea, distrito y provincia de Paucartambo en la región Cusco.

4.1.2 Geología

4.1.3 *Grupo San José (Oim-sj)*

En esta zona consta principalmente de pizarras, esquistos y niveles lenticulares de metareniscas de grano grueso. Los afloramientos de pizarras y esquistos son cortados por eventuales sills de composición dacita estos niveles sedimentarios presentan foliación intensa y pliegues parásitos en algunos sectores.

Los niveles lenticulares de areniscas gris oscuras de grano grueso son eventuales, con grosores de hasta 20 cm, las que presentan disseminación y venilleo (entre los planos de esquistosidad) de pirita y calcopirita.

4.1.4 *Formación sandia (os-s)*

Las en esta formación han sido sometidas a plegamientos debido a los procesos tectónicos de la era herciniana, así como a los movimientos de la última fase andina. Esto hace que sea complicado estimar con precisión su grosor; sin embargo, investigaciones anteriores indican que su espesor supera los 1000 metros. Se pueden observar afloramientos de estas rocas a lo largo de la región suroccidental del cuadrángulo de Calca, donde mantienen características similares. Además, al estar en contacto con rocas intrusivas, han experimentado un fenómeno de metamorfismo térmico, lo que ha dado lugar a la formación de minerales como la andalucita y la corderita. Este proceso ocurre a medida que las rocas intrusivas se acercan, conforme se describe en el trabajo de Vargas (1998, p. 37). Por lo tanto, la interacción entre estas rocas y el calor generado por las intrusiones ha sido fundamental en la evolución de la formación.

Aflora en el extremo Oeste de la concesión minera, con una estratificación definida con dirección N135° Bz 85° NW en promedio, así mismo, se presenta de manera uniforme al borde oeste de la concesión.

En lo que respecta a la correlación geológica, se ha observado que en la edad del Grupo San José y la Formación Sandía no se han hallado fósiles, ni siquiera en la extensión que corresponde al cuadrángulo de Chontachaca. Según los datos sobre la fauna fósil, se infiere que estos sedimentos se depositaron en mares neríticos o profundos y en condiciones que favorecen la reducción. (Vargas, 1998, p. 38)

Su litología de esta formación está compuesta por pizarras, cuarcitas, metareniscas y lutitas en estratos delgados a gruesos, con estratificación sesgada, estructura de ripple marks y laminaciones paralelas. Se distinguen dos miembros:

En cuanto al Miembro Inferior, este presenta en su parte baja un destacado y resistente paquete de cuarcitas que exhiben un color que oscila entre el gris claro y el blanquecino. Estas cuarcitas están dispuestas en capas medianas y gruesas, con un grosor que varía de 1 a 0.2 metros y con un tamaño de partícula que va de fino a grueso. Es común observar en este miembro la presencia de vetas y vetillas de cuarzo lechoso, así como algunas capas que contienen micas. Se estima que la grosor total de esta secuencia es de aproximadamente 700 metros y que se encuentra en aparente concordancia con el Grupo San José. (Monge, 1998, p. 80).

Respecto al Miembro Superior, este se caracteriza por una alternancia de areniscas y cuarcitas de textura fina. Los colores de estas sediments varían desde el gris claro hasta el gris oscuro y blanquecino, presentándose en capas delgadas a moderadas de forma tabular, que oscilan entre 2

y 20 centímetros de grosor y con un contacto ondulante. También se encuentran limolitas con estratificación interna paralela, y una capa delgada de calizas espáticas, que contiene cristales de calcita recristalizada. Hacia la parte superior de la secuencia, se observa una intercalación de cuarcitas, limolitas y areniscas de grano fino, culminando en un notable paquete de areniscas dispuestas en capas gruesas. (Monge, 1998, p. 80) (ver figura 4.1 y 4.2).

Esta descripción de los miembros de la Formación Sandía subraya la diversidad textural y composicional de las rocas sedimentarias, así como su evolución a lo largo del tiempo geológico en este sector. Las características observadas indican no solo los procesos de sedimentación, sino también las condiciones ambientales variando a través del tiempo.

4.2 Metodología de la Investigación

El actual trabajo tuvo un carácter tecnológico, teniendo como base los conocimientos teóricos y siendo aplicados en eventos prácticos. Para esta investigación en particular, se aplicarán la base teórica en la operación de molienda, determinando las variables óptimas para la liberación del mineral valioso y posteriormente serán proyectados y aplicados en el funcionamiento de la planta metalúrgica de la empresa mencionada previamente.

Figura 4.1

Mineral identificado

**Figura 4.2**

Vista general de la formación geológica



4.3 Tipo y Alcance de la Investigación

Según el número de variables consideradas, el tipo de investigación que se realizó es cuantitativo, dado que se modifican los valores de las variables que no dependen dentro de la operación de molienda para su posterior observación y análisis del comportamiento de la variable dependiente, estando sujetos a las observaciones correspondientes y su análisis.

Por tanto, el enfoque de la investigación fue correlacional ya que se reconoce la relación que existe entre las variables dentro de discusión en el contexto planteado; descriptivo puesto que se da un proceso ordenado y secuencial; es explicativo porque se evalúan las variables independientes y su posterior modificación, para determinar la mejor respuesta posible (variable dependiente), en este caso la óptima liberación de oro en la molienda, como se evidencia en la siguiente relación:

$$X, Y \rightarrow Z \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

X, Y : Variable independiente, manipulada

Z : Variable dependiente, respuesta o efecto

4.3.1 *Diseño Experimental*

Se empleó el diseño factorial de experimentos. Este enfoque, que se basa en principios estadísticos sólidos, es altamente valorado y comúnmente utilizado por los investigadores en

diversas disciplinas. La ventaja más destacada de esta metodología se encuentra en su capacidad para abordar situaciones en las que el comportamiento del sistema a analizar es incierto y no existe un modelo teórico preestablecido que permita anticipar cómo responderá ante diferentes variables (Miranda & Medina, 2015, p. 260). Al utilizar el diseño factorial, se podrá explorar de manera sistemática la interacción entre múltiples factores, facilitando una comprensión más detallada de las dinámicas del sistema en estudio y permitiendo así la obtención de resultados más robustos y confiables.

De acuerdo con el análisis realizado por Miranda y Medina (2015), se pueden delinear las siguientes etapas en el proceso de investigación experimental:

1. Familiarización con técnicas experimentales: En esta fase inicial, el investigador debe adquirir un conocimiento integral sobre las diversas técnicas de experimentación, así como los métodos adecuados para el análisis y muestreo de datos. Este paso es crucial, ya que busca prevenir la aparición de errores sistemáticos que podrían afectar la validez de los resultados.
2. Identificación de variables relevantes: El siguiente paso consiste en reconocer un conjunto de variables que podrían influir de manera significativa en el fenómeno que se está analizando. Esta identificación es esencial para poder enfocar la investigación en aspectos que realmente impactan el resultado.
3. Determinación de los valores de las variables: Una vez que se han señalado las variables significativas, es importante establecer los valores específicos que las mismas pueden tomar, de manera que se obtenga un valor máximo o mínimo para la variable de

respuesta del sistema en cuestión, dependiendo de la naturaleza del experimento y sus objetivos.

4. Obtención de una función matemática: Finalmente, se busca formular una función matemática que establezca la conexión entre las variables que son independientes (o explicativas) y la variable que son dependiente (o de respuesta). Esta función es fundamental, ya que permite aplicar los hallazgos a situaciones que no han sido experimentadas directamente, siempre que estas caigan dentro de los rangos previamente evaluados para las variables seleccionadas.

Para el análisis y evaluación de las variables con mayor grado de influencia en la operación de molienda, se hará uso del software MINITAB con un análisis factorial de 2^2 , del cual podemos inferir que se tendrán 4 pruebas y añadiremos 3 pruebas intermedia, en vista que, se toman como valores el máximo y mínimo de la densidad y tiempo de molienda.

Siendo las variables independientes la densidad de pulpa y el tiempo de molienda, se tendrá un valor máximo, un mínimo y un intermedio por cada variable, teniendo entonces:

- **-1:** Mínimo valor (densidad de pulpa o tiempo de molienda)
- **0:** Valor intermedio (densidad de pulpa o tiempo de molienda)
- **1:** Mínimo valor (densidad de pulpa o tiempo de molienda)

Por tanto, tenemos el número de pruebas aleatorias a efectuar como se observa en la tabla N° 4.1, evaluando los resultados se considera que alguna de dichas pruebas nos brindara los parámetros adecuados para su respectiva proyección a planta.

Tabla 4.1

Pruebas a efectuar

N° de pruebas	Variables dependientes		Código de prueba
	Densidad de pulpa	Tiempo de molienda	
1	-1	-1	PRB-1
2	-1	1	PRB-2
3	1	-1	PRB-3
4	1	1	PRB-4
5	0	0	PRB-5
6	0	0	PRB-6
7	0	0	PRB-7

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

Se considero como población, el mineral presente que se observa producto de la preparación de galerías y explotación subterránea de las vetas de la autorización minera Wayna Inka, de propiedad de la empresa Corporacion Aurifera Electrum S.A.

4.4.2 Muestra

Para obtener muestra representativa de la población, se aplicó el muestreo por canales, el cual consiste en obtener muestras mediante un procedimiento que inicialmente empieza por la delimitación de franjas perpendiculares al rumbo de la veta y su inclinación, dicha franja debe tener un ancho de 2.5 a 3 centímetros, y estos deben de repetirse cada 1.5 metros, por lo cual de cada franja se extrae, con ayuda de una picota o comba y cincel, muestras de mineral de similar cantidad hasta llegar al final de avance de la bocamina.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Técnica de recolección de datos

Siendo las metodologías para la recolección de datos en un trabajo de investigación, todos aquellos procedimientos, recursos u forma particular para la recopilación de datos, se emplearon la observación y la recopilación documental o bibliográfica para la realización de este trabajo de investigación, la cual conlleva las siguientes técnicas:

4.5.1.1 Recopilación documental o bibliográfica. Se estudió y analizó los parámetros sugeridos por bibliografía, junto a los datos obtenidos en la operación de plantas metalúrgicas de similar capacidad fruto de la experiencia laboral de los tesisistas, como: ley de cabeza de mineral, gravedad específica de mineral, frecuencia de giro del molino, etc.

4.5.1.2 Registro de datos. Los datos adquiridos y los resultados logrados mediante el uso de fórmulas y cálculos, son analizados manualmente y digitalmente según sea el caso para obtener la mejor información de los ensayos realizados.

4.5.1.3 Análisis estadístico. Una vez obtenidos los datos correspondientes del análisis minerográfico, análisis químico y laboratorio metalúrgico, los resultados obtenidos son analizados en cuadros comparativos y estadísticos para evaluar la conducta aproximada de las variables mediante cálculos en Excel y MINITAB.

Para la adquisición y recopilación de datos se hizo muestreo del mineral a partir de las concesiones pertenecientes a la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A.

4.5.2 Instrumentos de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de datos son aquellos que nos permiten obtener datos acordes a la necesidad de la investigación a consecuencia de la modificación de variables, siendo necesario para tal fin la observación y la experimentación en laboratorio, y así, poder llevar a cabo el análisis correspondiente de la información recolectada.

Para la siguiente tesis de investigación, se utilizaron los siguientes materiales, equipos, instrumentos y equipos:

4.5.2.1 Equipos:

- **Balanza electrónica:** Se utilizó una balanza electrónica que brindaba el valor de pesaje con un decimal, siendo necesario usar previamente un grupo de pesas de calibración para obtener los datos precisos al momento de pesar las muestras de mineral, evaluación de la densidad específica, mineral pasante de la serie de mallas usadas, etc.
- **Cuartheador de tipo Jones:** El equipo está diseñado para dividir una muestra en dos partes iguales mientras se mantiene la representatividad de la muestra. El dispositivo

consiste en dos bandejas que reciben la muestra y un cajón guía que facilita la carga constante del material a través de los chutes, lo que permite que el operador no tenga que prestar atención durante la división.

- Chancadora de quijadas de laboratorio: El equipo consiste en dos mandíbulas dispuestas en forma de "V", una de las cuales permanece quieta mientras la otra se mueve hacia atrás y adelante. Este movimiento de retroceso permite que los fragmentos se desplacen hacia la parte más estrecha, donde son comprimidos de nuevo a medida que la mandíbula avanza. De esta manera, podemos obtener el mineral con una malla de 80% -3/8".
- Chancadora cónica de laboratorio: está formada por una parte fija y una móvil, donde se producen los procesos de trituración permitiendo según la graduación una reducción en promedio de 6:1. Siendo este equipo el utilizado para la reducción de las muestras de mineral a 95% - 10 malla.
- Pulverizador de discos: equipo que permite la molienda fina del mineral, fue utilizado para obtener una muestra a -200 malla, dicha muestra fue utilizada para el análisis químico y la obtención de ley de cabeza.
- Molino de bolas de laboratorio: es un equipo fabricado de forma no técnica, el cual tiene una dimensión de 10 pulgadas por 14 pulgadas. Dentro de este, se encuentran 66 bolas de acero con un tamaño que varía entre 1 pulgada a 1.5 pulgadas.
- Horno de secado de muestras: se utilizó en el laboratorio para calentar las muestras de mineral y acelerar el proceso de secado al crear condiciones óptimas para la evaporación, estando graduado a 110°C hasta obtener muestras libres de humedad.

- **Mallas ASTM:** Las mallas o tamices ASTM están diseñados para usarse de forma manual o en equipo de tamizado, comúnmente conocidos como ROTAP, la abertura de malla fue seleccionada para realizar el análisis granulométrico del mineral, usando desde la malla 65 a la 200.
- **Rotap:** Es un dispositivo diseñado para llevar a cabo movimientos circulares o rotatorios, combinados con movimientos de golpeteo en dirección vertical. Esta mecánica permite un tamizado eficiente y veloz de las muestras de mineral, utilizando un conjunto de 8 mallas conforme a las especificaciones ASTM. Cada prueba tiene una duración de 10 minutos, garantizando así un análisis preciso de las partículas en la muestra.
- **Materiales:** Teniendo en cuenta que esta tesis de investigación tiene por tema de estudio un proceso operativo, no se toma en consideración el uso de reactivos ni insumos.

4.5.2.2 Herramientas:

- **Espátula metálica:** De usos diversos, como el traslado de muestras y la limpieza de material adherido a las bandejas, así como otros recipientes de depósito transitorio.
- **Bandejas metálicas:** Se usó para separar las muestras de mineral según la prueba correspondiente y depositarlas en el horno de secado.
- **Fiola de 200 ml:** Se usó para el cálculo de la densidad específica del mineral.
- **Piseta:** se usó para la limpieza de mineral adherido en las paredes de los recipientes de vidrio al realizar el cálculo de gravedad específica y preparación de pulpa.

- Probeta: recipientes con un volumen definido los cuales se utilizaron para el cálculo de la densidad específica del mineral y la preparación de la pulpa.
- Embudo: Se uso como medio para el depósito de mineral en recipientes con limitada abertura como las fiolas.
- Cepillos o brochas: utilizado para la limpieza y acumulación de material regado al momento de trasladar las muestras de mineral.
- Mortero: se utilizó para la reducción de tamaño de pequeñas muestras de mineral que no alcanzaron la granulometría adecuada por medio de los equipos usados.

4.6 Método de investigación

Para la redacción de esta tesis de investigación, los datos obtenidos fueron cuantitativos siendo un estudio de tipo experimental y variando las variables dependientes entre parámetros acordes a los objetivos trazados. Se uso:

- Muestreo: Las muestras de mineral se obtuvieron de la concesión Wayna Inka que corresponde a la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A., mediante métodos geológicos.
- Análisis químico: se separó una pequeña muestra representativa para obtener la ley de cabeza de mineral y así ver la sustentabilidad económica de su procesamiento, siendo el laboratorio químico metalúrgico CEPROMET MINERA PORVENIR S. A. C. la encargada de esta labor.
- Análisis minerográfico: se separó una pequeña muestra representativa del mineral, en vista que, no se podía visualizar cualitativamente el oro presente en el mineral. Por tanto, se

optó por realizar dicho análisis a cargo de la empresa ANGLO PERUANA TERRA S. A., quienes nos brindarían el tamaño al cual se encuentra el oro presente en la muestra mineral junto a las especies de mineral que lo contienen.

- Preparación: Una vez teniendo las muestras de mineral representativas, se hizo la reducción del tamaño de mineral hasta obtener en lo posible el 100% de mineral a -10 malla, y así poder hacer la evaluación de los parámetros de molienda para obtener un grado de liberación adecuado del mineral estudiado.

4.6.1 Técnica de investigación

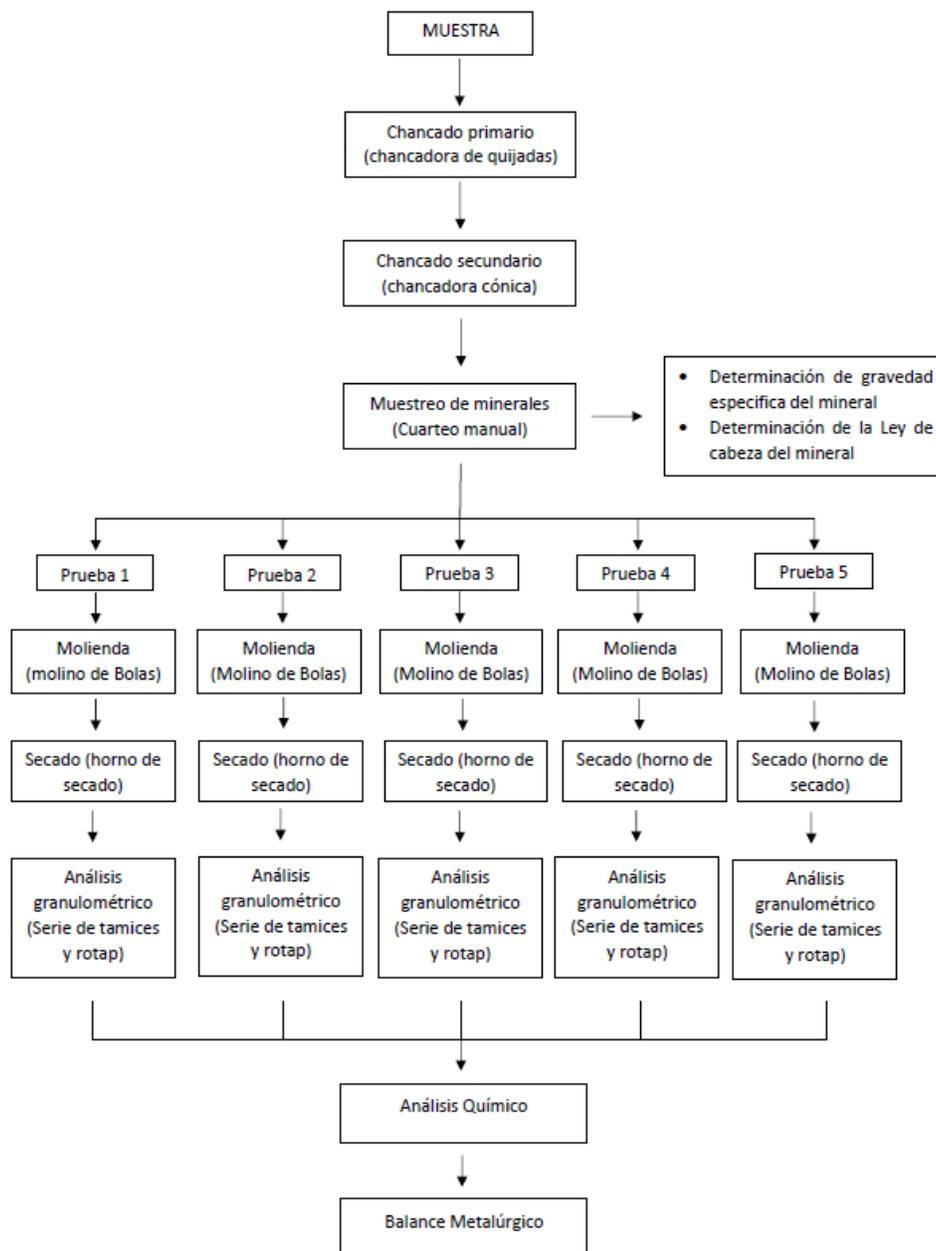
La muestra de mineral utilizado en este trabajo de investigación proviene del yacimiento minero de la concesión WAYNA INKA que pertenece a la empresa CORPORACION AURIFERA ELECTRUM S.A., para lo cual se tomó muestras representativas de las labores, mineral acarreado y de las vetas presentes en el yacimiento indicado párrafo anterior.

- Experimental: Se realizaron pruebas de chancado primario y secundario; seguidamente de molienda húmeda variando las variables dependientes dentro del laboratorio de procesamiento de minerales de la UNSAAC y así poder evaluar el grado de liberación de dicho mineral para lo cual se indica un diagrama de procedimiento Experimental en la figura 4.3
- Observación: Se observó y analizó los resultados de las pruebas de molienda mediante el análisis granulométrico y así obtener el mineral pasante de la malla 200 principalmente.
- Entrevista: Se rescató información del comportamiento de minerales oxidados con la molienda húmeda mediante entrevista a profesionales metalúrgicos

- Análisis de texto: Se realizó la búsqueda de información relevante para la realización de los experimentos, comprender el comportamiento y la interpretación de resultados.

Figura 4.3

Diagrama del procedimiento experimental



Nota. El diagrama muestra cada etapa del procedimiento usado en el laboratorio para la tesis de investigación.

CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para determinar el óptimo grado de liberación de oro de mineral con matriz de cuarzo, se solicitó las muestras representativas de los yacimientos pertenecientes a la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A. C., siendo este mineral el que procesarán en su planta de beneficio.

Las muestras solicitadas fueron reducidas de tamaño en el laboratorio de tratamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En dicho desarrollo se experimentó, siendo nuestro objetivo el evaluar los parámetros en el cual nos dé una óptima liberación de oro, manipulando las dos variables independientes dentro de los parámetros indicados en el tema de estudio (densidad de pulpa y tiempo de molienda).

5.1 Muestra de mineral

Se tomaron muestras representativas del mineral perteneciente al yacimiento descrito en el anterior capítulo, siendo 25 kg de mineral los necesarios para poder realizar el análisis químico del mineral de cabeza, análisis minerográfico, análisis granulométrico para evaluar el mineral pasante por la malla propuesta según la hipótesis.

En la tabla 5.1, podemos visualizar las características del mineral estudiado, los cuales nos brindaran un soporte para el cumplimiento del objetivo de esta tesis de investigación, el cual es evaluar el tiempo de molienda y la densidad de pulpa, tratando de estimar valores tangibles para conseguir una adecuada y eficiente liberación de oro encapsulado dentro de la matriz de cuarzo.

Tabla 5.1

Características de mineral de oro de la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A. C.

Características del mineral	Valores promedio
Gravedad específica de mineral	2.7 g/cc
Ley de cabeza	6.6 g/TM
Ley de oro grueso	0.4 g/TM
Ley de oro fino	6.2 g/TM

Nota. Elaborado en el laboratorio químico metalúrgico de la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A. C.

Concluyendo con la obtención de resultados después de la molienda del mineral, donde dichas pruebas fueron secadas y pesadas respectivamente para su análisis granulométrico y posteriormente hacer un análisis químico del mineral pasante y retenido por la malla 200 ASTM.

5.2 Presentación, análisis e interpretación de las características del mineral

5.2.1 Presentación de las características del mineral para molienda de bolas

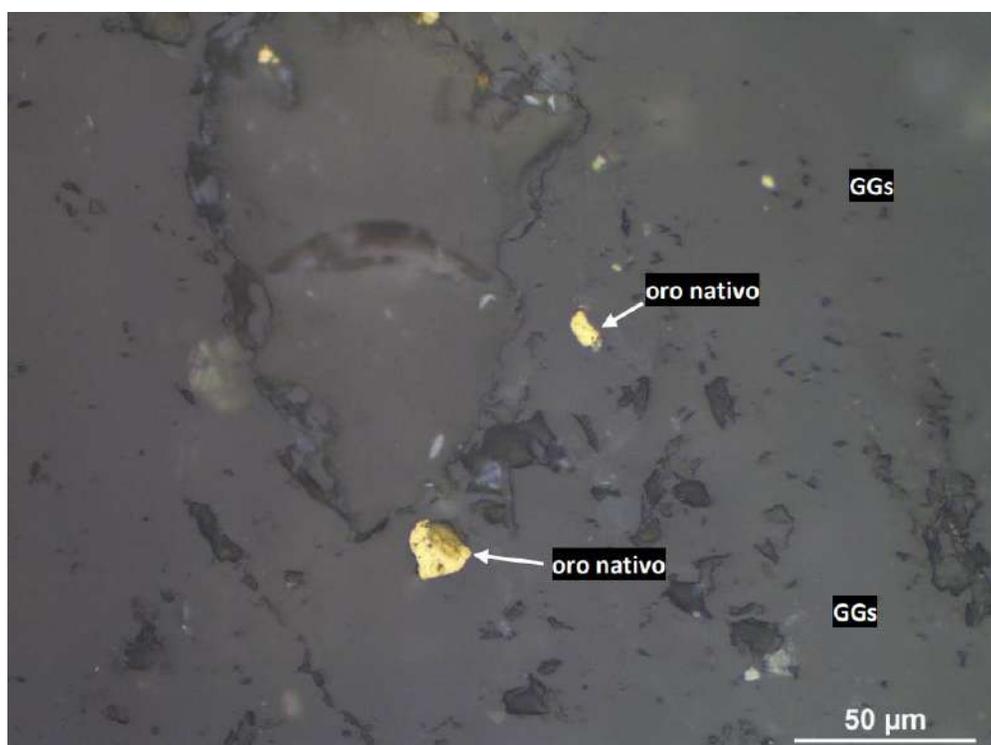
5.2.1.1 Análisis químico. Se realizó una prueba de análisis químico de la muestra representativa del mineral de oro proveniente de los yacimientos de la empresa Corporación Aurífera Electrum S. A. C. (mineral de cabeza), requiriendo la cantidad total de oro encontrada en la muestra, dicho análisis fue realizado en un laboratorio externo, como podemos observar en la tabla 5.2.

- Oro nativo Au

Por lo cual, dichos minerales se encuentran en las muestras de trabajo de investigación

Figura 5.1

Resultado del análisis químico de Oro en el mineral de cabeza. Cristales de oro nativo como inclusiones en gangas (GGs)



Nota. El tamaño de las inclusiones de oro no excede las 20 micras. Elaborado en el laboratorio químico metalúrgico Anglo Peruana S. A.

5.2.1.4 Determinación de la gravedad específica del mineral. La gravedad específica es una relación entre la unidad de peso del material y la unidad de peso del agua

destilada. Se representa por G_e y se calcula usando la relación de peso de la sustancia respecto al agua, siempre que se tengan en cuenta volúmenes iguales.

Para establecer la gravedad específica del mineral, se redujo la muestra al 100% pasante con respecto a la malla N°10 ASTM, teniendo como acto seguido la homogenización y cuarteo para finalmente obtener las muestras representativas. Dichas pruebas se realizaron en fiolas de 100 ml por triplicado, teniendo en cuenta los resultados como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.3

Determinación de Gravedad específica

N° de Prueba	1	2	3
Peso de la fiola de 100ml (g)	274.1	280.2	278.6
Fiola + mineral (g)	314.1	320.2	318.6
Fiola + agua (desplazado) + mineral (g)	298.6	296.8	303.5
Fiola + agua (g)	374.1	380.2	378.6
Peso del mineral (g)	40	40	40
Peso del agua (ml)	100	100	100
Gravedad específica (g/cc)	2.68	2.7	2.72

Nota: Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para esta prueba utilizaremos la Ecuación 9:

$$G_e = \frac{PM - p}{A + (PM - p) - S} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

- Ge** : Gravedad específica
PM : Peso de la fiola + mineral
P : Peso de la fiola
A : Peso del agua
S : Peso de la fiola + mineral + agua

Calculando el promedio:

$$Ge = \frac{2.68 + 2.7 + 2.72}{3} = 2.7$$

Entonces, se tiene un valor de 2.7gr/cc; este resultado aportara como dato para la determinación del porcentaje de sólidos y aplicación para la preparación de la densidad de pulpa.

5.2.1.5 Determinación del porcentaje de sólidos. Se definen como combinaciones de sólidos y líquidos que se presentan en forma de mezclas en suspensión. Esta característica facilita el análisis de sus propiedades y su comportamiento, permitiendo considerarlas como un fluido homogéneo, especialmente dentro del ámbito de la minería. Estas pulpas son formadas al suspender uno o más minerales en agua, lo que genera una mezcla que puede ser estudiada para entender mejor cómo se comportan en diferentes procesos mineros.

Por tanto, es necesario el conocer el porcentaje de sólidos para una adecuada preparación de pulpa, y así poder evaluar los parámetros de la molienda en húmedo.

Primeramente, debemos tener en claro que trabajaremos con tres datos en lo que respecta a la densidad de pulpa, es por eso para determinar la cantidad de mineral seco y agua para la molienda es de gran importancia, por tanto, determinaremos el porcentaje de sólidos mediante la siguiente ecuación:

$$\%S = \frac{GE \times (dp - 1) \times 100}{dp \times (GE - 1)} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

GE : Gravedad específica del mineral

Dp : Densidad de pulpa

%S : Porcentaje de sólidos

Por tanto, procedemos a reemplazar los datos para cada prueba propuesta en la ecuación 10:

Para la prueba N°1 y N°2:

Si la gravedad específica del mineral es de 2.7 y la densidad de pulpa es de 1.650 gr/cc, entonces tenemos:

$$\%S = \frac{2.7 \times (1.650 - 1) \times 100}{1.650 \times (2.7 - 1)}$$

Por lo tanto, el porcentaje de sólidos para la primera prueba es:

$$\%S = 62.566\%$$

Entonces tomando en consideración el volumen de un litro del recipiente de la balanza Marcy, se obtiene la relación que se visualiza en la tabla 5.4.

Por lo que indica que en un recipiente de 1000cc se alimentará 1031.71 gramos de mineral seco y 617.28 mililitros de agua.

Tabla 5.4

Preparación de pulpa para la molienda húmeda a densidad de 1.650 gr/cc

	Peso (gr)	Volumen (cc)	Densidad (gr/cc)
Mineral	1031.71334	382.1160519	2.7
Agua	617.28666	617.28666	1
Pulpa	1649	999.4027119	1.649985517

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°3 y N°4:

Si la gravedad específica del mineral es de 2.7 y la densidad de pulpa es de 1.850 gr/cc entonces:

$$\%S = \frac{2.7 \times (1.850 - 1) \times 100}{1.850 \times (2.7 - 1)}$$

Por lo tanto, el porcentaje de sólidos para la segunda prueba es:

$$\%S = 72.972\%$$

Entonces tomando en consideración el volumen de un litro del recipiente de la balanza Marcy, se obtiene la relación que se visualiza en la Tabla 5.5.

Por lo que indica que en un recipiente de 1000cc se alimentará 1349.25 gramos de mineral seco y 499.74 mililitros de agua.

Tabla 5.5

Preparación de pulpa para la molienda húmeda a densidad de 1.850 gr/cc

	Peso (gr)	Volumen (cc)	Densidad (gr/cc)
Mineral	1349.25228	499.7230667	2.7
Agua	499.74772	499.74772	1
Pulpa	1849	999.4707867	1.849979034

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°5, N°6 y N°7:

Si la densidad relativa del mineral es de 2.7 y la densidad de pulpa es de 1.750 gr/cc entonces:

$$\%S = \frac{2.7 \times (1.750 - 1) \times 100}{1.750 \times (2.7 - 1)}$$

Por lo tanto, el porcentaje de sólidos para la tercera prueba es:

$$\%S = 68.067\%$$

Entonces tomando en consideración el volumen de un litro del recipiente de la balanza Marcy, se obtiene la relación que se visualiza en la Tabla 5.6.

Por lo que indica que en un recipiente de 1000 cc se alimentara 1191.17 gramos de mineral seco y 558.82 mililitros de agua.

Tabla 5.6

Preparación de pulpa para la molienda húmeda a densidad de 1.750 gr/cc

	Peso (gr)	Volumen (cc)	Densidad (gr/cc)
Mineral	1191.1725	441.175	2.7
Agua	558.8275	558.8275	1
Pulpa	1750	1000.0025	1.749995625

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

5.2.1.6 Molienda. Habiendo determinado las pulpas de cada prueba, se realiza la etapa de molienda con el propósito de determinar el tiempo de molienda y densidad de pulpa óptimo, además, de liberar el oro presente en el mineral en más del 60% a -200 malla ASTM. Dichas las pruebas se llevarán a cabo en el laboratorio de tratamiento de minerales, los cuales se distribuyen de la siguiente forma (ver tabla 5.7).

5.2.1.7 Análisis granulométrico. Una vez finalizado las pruebas correspondientes de molienda, se realizó los análisis granulométricos, con la finalidad de observar el comportamiento del mineral con respecto a la molienda y caracterizar la manera que está distribuida el tamaño de partículas en función de las variables discutidas, adicionalmente se realiza un análisis

granulométrico de la tabla N° 5.8 previo a realizar las pruebas de molienda, para observar el comportamiento que tendrá el mineral al salir de la chancadora cónica, considerando que se redujo la muestra al 100% pasante con respecto a la malla N°10 ASTM.

Tabla 5.7

Distribución de pruebas en función a las variables

N° de Prueba	Tiempo de molienda (min)	Densidad de pulpa (gr/cc)
Prueba N°1	5	1.65
Prueba N°2	25	1.65
Prueba N°3	25	1.85
Prueba N°4	5	1.85
Prueba N°5	15	1.75
Prueba N°6	15	1.75
Prueba N°7	15	1.75

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.8

Análisis granulométrico de la alimentación a -10 malla ASTM y tiempo de molienda 0 minutos.

Tiempo: 0 minutos						
N°	Malla	Abertura	Peso retenido	Peso retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje pasante
		Malla				
		(μm)	(g)	(%)	(%)	(%)
1	10	1700	0	0	0	100
2	14	1180	126.65	25.33	25.33	74.67
3	28	600	112	22.4	47.73	52.27
4	65	212	66.7	13.34	61.07	38.93
5	100	150	73.65	14.73	75.8	24.2
6	200	75	66.25	13.25	89.05	10.95
7	-200	-75	54.7	10.94	99.99	0.01

Nota. Elaborado por los tesisistas; realizado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Después, se realizan los análisis granulométricos de las pruebas N°1, 2, 3, 4 y 5, se evidencian los resultados que se presentan en las tablas a continuación:

Tabla 5.9

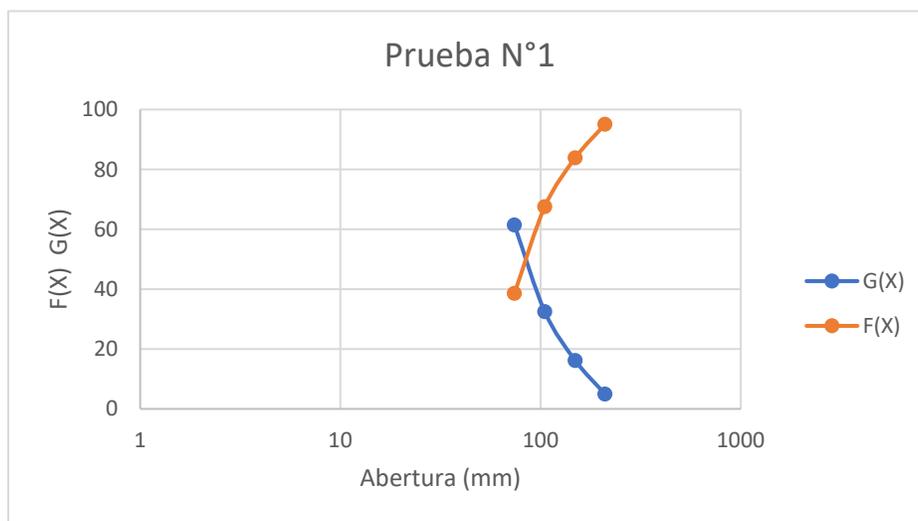
Análisis granulométrico de la prueba N°1 a 5 minutos de molienda

Tiempo: 5 minutos						
N°	Malla	Abertura (um)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	12.3	4.92	4.92	95.08
2	100	149	28.1	11.24	16.16	83.84
3	150	105	40.7	16.28	32.44	67.56
4	200	74	72.5	29	61.44	38.56
5	-200	-	96.4	38.56	100	0
	Total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.2

Grafica de análisis granulométrico de la prueba N°1



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.10

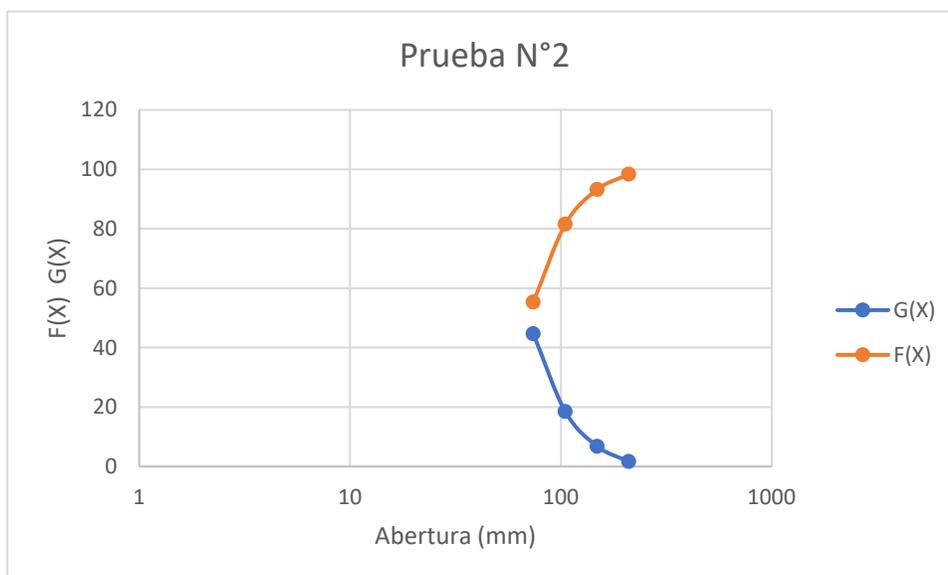
Análisis granulométrico de la prueba N°2 a 25 minutos de molienda

Tiempo: 25 minutos						
N°	Malla	Abertura (um)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	4.14	1.656	1.656	98.344
2	100	149	12.8	5.12	6.776	93.224
3	150	105	29.23	11.692	18.468	81.532
4	200	74	65.53	26.212	44.68	55.32
5	-200	-	138.3	55.32	100	0
	Total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.3

Grafica de análisis granulométrico de la prueba N°2



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.11

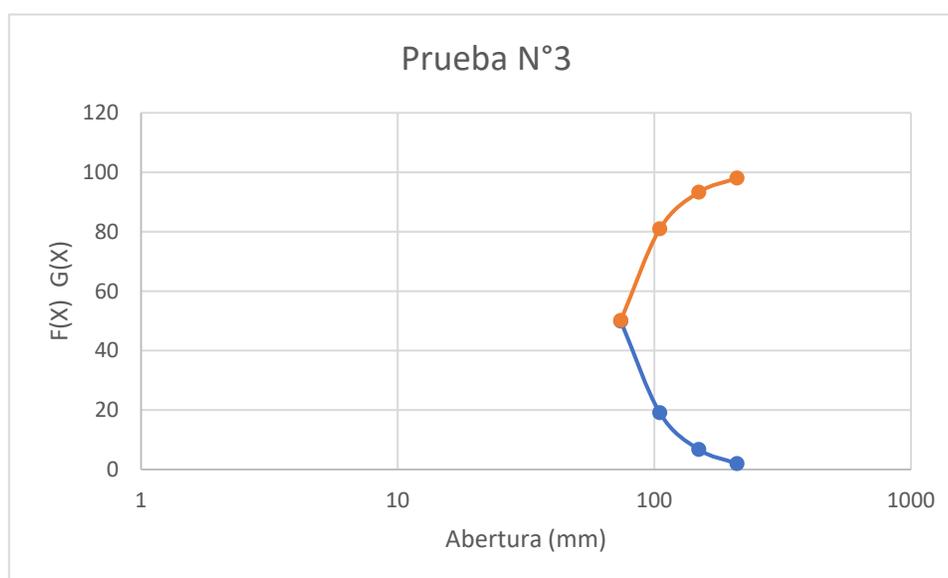
Análisis granulométrico de la prueba N°3 a 25 minutos de molienda

Tiempo: 25 minutos						
N°	Malla	Abertura (um)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	4.9	1.96	1.96	98.04
2	100	149	11.9	4.76	6.72	93.28
3	150	105	30.9	12.36	19.08	80.92
4	200	74	77	30.8	49.88	50.12
5	-200	-	125.3	50.12	100	0
	Total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.4

Gráfico de análisis granulométrico de la prueba N°3



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.12

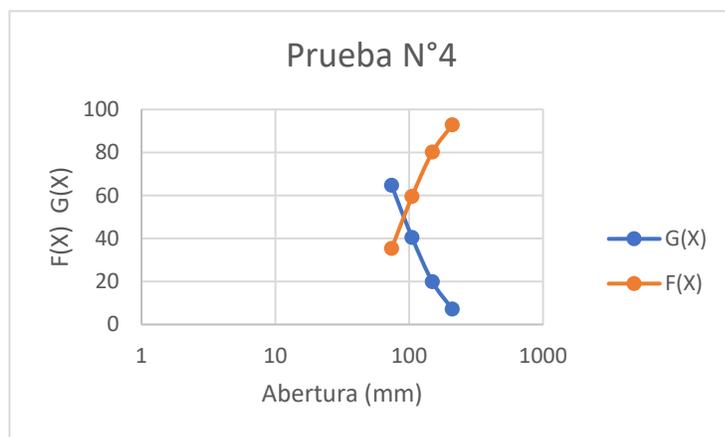
Análisis granulométrico de la prueba N°4 a 5 minutos de molienda

Tiempo: 5 minutos						
N°	Malla	Abertura (um)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	17.9	7.16	7.16	92.84
2	100	149	31.72	12.688	19.848	80.152
3	150	105	51.53	20.612	40.46	59.54
4	200	74	60.5	24.2	64.66	35.34
5	-200	-	88.35	35.34	100	0
	total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.5

Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°4



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.13

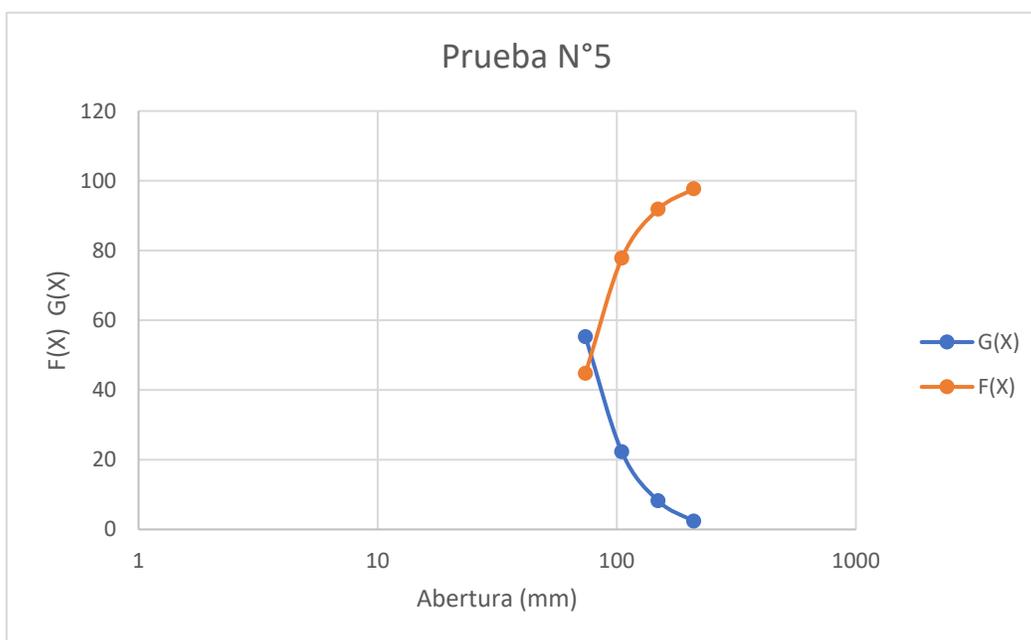
Análisis granulométrico de la prueba N°5 a 15 minutos de molienda

Tiempo: 15 minutos						
N°	Malla	Abertura (um)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	5.847	2.3388	2.3388	97.66
2	100	149	14.601	5.8404	8.1792	91.82
3	150	105	35.168	14.0672	22.2464	77.75
4	200	74	82.5	33	55.2464	44.75
5	-200	-	111.884	44.7536	100	0.00
	total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.6

Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°5



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.14

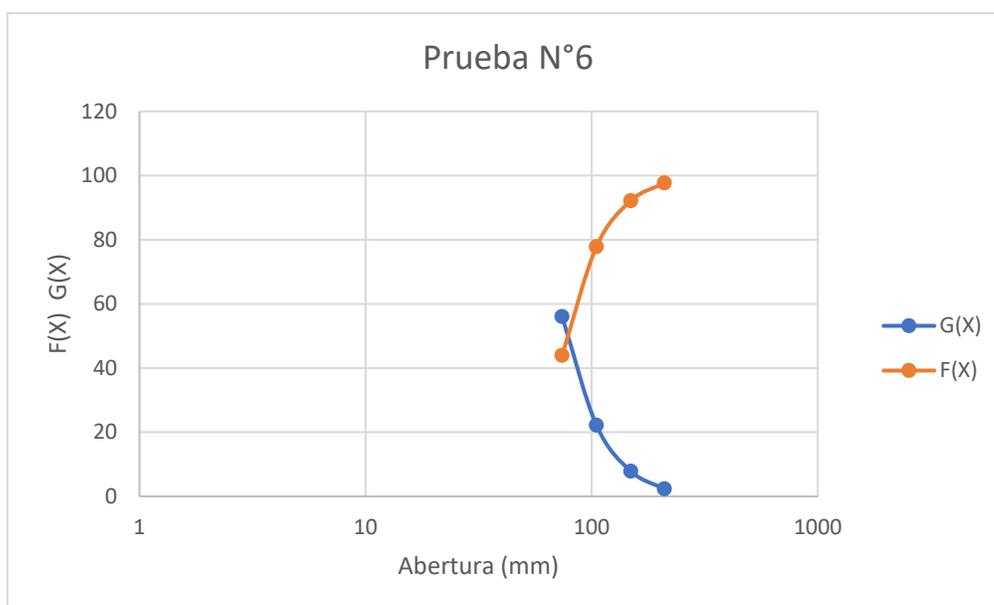
Análisis granulométrico de la prueba N°6 a 15 minutos de molienda

Tiempo: 15 minutos						
N°	Malla	Abertura (μm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	6.12	2.448	2.448	97.55
2	100	149	14.37	5.748	8.196	91.80
3	150	105	36.75	14.7	22.896	77.10
4	200	74	82.14	32.856	55.752	44.25
5	-200	-	110.62	44.248	100	0.00
	total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.7

Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°6



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Tabla 5.15

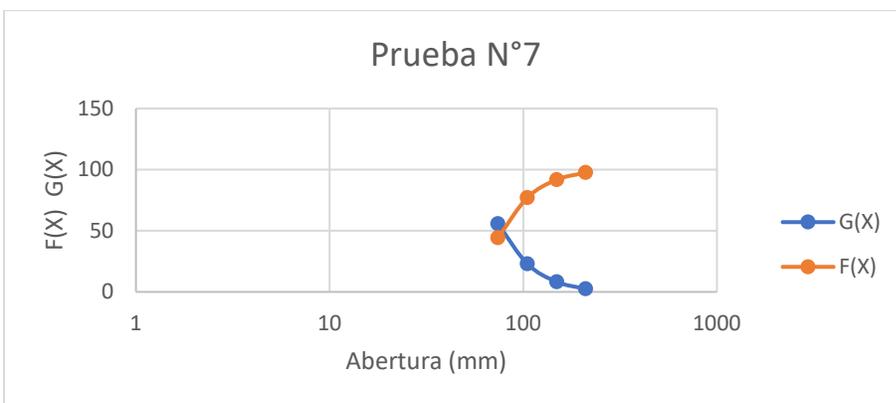
Análisis granulométrico de la prueba N°6 a 15 minutos de molienda

Tiempo: 15 minutos						
N°	Malla	Abertura (μm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
1	65	210	6.12	2.448	2.448	97.55
2	100	149	14.37	5.748	8.196	91.80
3	150	105	36.75	14.7	22.896	77.10
4	200	74	82.14	32.856	55.752	44.25
5	-200	-	110.62	44.248	100	0.00
	total		250	100		

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Figura 5.8

Grafica del análisis granulométrico de la prueba N°7



Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Por lo tanto, se realiza un resumen del porcentaje del peso pasante de cada análisis granulométrico con sus respectivas variables independientes (ver tabla 5.16).

Tabla 5.16

Resumen de resultados de los análisis granulométricos

Nº	Tiempo de molienda (min)	Densidad de pulpa (gr/L)	Pasante a -200 malla (%)
1	5	1650	38.56
2	25	1650	55.32
3	25	1850	50.12
4	5	1850	35.34
5	15	1750	44.75
6	15	1750	43.96
7	15	1750	44.25

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

5.2.1.8 Análisis químico. Para conocer la distribución de oro en la serie de tamices, con ayuda de un laboratorio externo, se determinó las leyes (contenido de oro) del mineral retenido en la malla N°200 ASTM y su pasante respectivamente para cada prueba, adicionalmente la ley de cabeza del mineral, el cual nos da los resultados que se muestran en la tabla N°5.17.

Tabla 5.17

Resultados de los análisis químico realizados a las pruebas de molienda

Nombre de la muestra	Ley de Oro (gr/TM)
Prueba N°1 retenido a malla 200	1.72
Prueba N°1 pasante a malla 200	4.82
Prueba N°2 retenido a malla 200	1.71
Prueba N°2 pasante a malla 200	5.31
Prueba N°3 retenido a malla 200	1.8
Prueba N°3 pasante a malla 200	5.02
Prueba N°4 retenido a malla 200	1.54
Prueba N°4 pasante a malla 200	4.75
Prueba N°5 retenido a malla 200	1.81
Prueba N°5 pasante a malla 200	5.14
Prueba N°6 retenido a malla 200	1.79
Prueba N°6 pasante a malla 200	5.20
Prueba N°7 retenido a malla 200	1.83
Prueba N°7 pasante a malla 200	5.17
Mineral de cabeza	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio químico metalúrgico CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.

5.2.1.9 Balance metalúrgico. Una vez habiendo determinado las leyes correspondientes, se realiza el balance metalúrgico correspondiente de cada prueba experimental.

Para la prueba N°1, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.72 gr/TM y del mineral pasante de la malla 200 es de 4.82 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.18).

Tabla 5.18

Balance metalúrgico de la prueba N°1

Prueba N°1		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	81.1	1.26
200	72.5	1.72
-200	96.4	4.82
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°2, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.71 gr/TM y del mineral pasante de la malla 200 es de 5.31 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.19).

Tabla 5.19*Balance metalúrgico de la prueba N°2*

Prueba N°2		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	46.17	0.78
200	65.53	1.71
-200	138.3	5.31
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°3, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.8 gr/TM y del mineral pasante de la malla 200 es de 5.02 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.20).

Tabla 5.20*Balance metalúrgico de la prueba N°3*

Prueba N°3		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	47.7	0.98
200	77	1.8
-200	125.3	5.02
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°4, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.54 gr/TM, y del mineral pasante de la malla 200 es de 4.75 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.21).

Tabla 5.21*Balance metalúrgico para la prueba N°4*

Prueba N°4		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	101.15	1.51
200	60.5	1.54
-200	88.35	4.75
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°5, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.81 gr/TM y del mineral pasante de la malla 200 es de 5.14 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.22).

Tabla 5.22*Balance metalúrgico de la prueba N°5*

Prueba N°5		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	55.2	0.85
200	82.93	1.81
-200	111.8	5.14
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°6, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.79 gr/TM y del mineral pasante de la malla 200 es de 5.2 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.23).

Tabla 5.23*Balance metalúrgico de la prueba N°6*

Prueba N°6		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	55.438	0.81
200	84.673	1.79
-200	109.889	5.2
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

Para la prueba N°7, la ley del mineral retenido de la malla 200 es de 1.83 gr/TM y del mineral pasante de la malla 200 es de 5.17 gr/TM; quedando el siguiente balance (ver Tabla N°5.24).

Tabla 5.24*Balance metalúrgico de la prueba N°7*

Prueba N°7		
Malla	Peso (gr)	Ley Au (gr/TM)
>200	57.24	0.8
200	82.14	1.83
-200	110.62	5.17
Total	250	7.8

Nota. Elaborado en el laboratorio de Procesamiento de minerales – UNSAAC.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultados obtenidos

Datos de la prueba N°1

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 29 %
 - Peso (gr): 72.5
 - Ley de Oro (gr/TM): 1.72
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 38.56 %
 - Peso (gr): 96.4
 - Ley de Oro (gr/TM): 4.82

Datos de la prueba N°2

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 26.212 %
 - Peso (gr): 65.53
 - Ley de Oro (gr/TM): 1.71
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 55.32 %
 - Peso (gr): 138.3
 - Ley de Oro (gr/TM): 5.31

Datos de la prueba N°3

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 30.8%
 - Peso (gr): 77

- Ley de Oro (gr/TM): 1.8
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 50.12 %
 - Peso (gr): 125.3
 - Ley de Oro (gr/TM): 5.02

Datos de la prueba N°4

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 24.2 %
 - Peso (gr): 60.5
 - Ley de Oro (gr/TM): 1.54
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 35.34 %
 - Peso (gr): 88.35
 - Ley de Oro (gr/TM): 4.75

Datos de la prueba N°5

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 33.17 %
 - Peso (gr): 82.93
 - Ley de Oro (gr/TM): 1.81
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 44.75 %
 - Peso (gr): 111.8
 - Ley de Oro (gr/TM): 5.14

Datos de la prueba N°6

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 33.87%

- Peso (gr): 84.673
- Ley de Oro (gr/TM): 1.79
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 43.96 %
 - Peso (gr): 109.889
 - Ley de Oro (gr/TM): 5.20

Datos de la prueba N°7

- Porcentaje retenido de la malla N°200: 32.86 %
 - Peso (gr): 82.14
 - Ley de Oro (gr/TM): 1.83
- Porcentaje pasante de la malla N°200: 44.25 %
 - Peso (gr): 110.62
 - Ley de Oro (gr/TM): 5.17

6.1.1 Cálculo de cinética de Conminución

Teniendo en cuenta los tiempos aplicados en cada prueba experimental y los porcentajes de mineral que pasan la malla N°200 como se indica en la tabla N°6.1, se realizó una gráfica de dispersión y un ajuste de regresión lineal, el cual nos permitió determinar una ecuación de regresión lineal simple y este a su vez nos indica que tiene un grado de fuerza cercano con los datos reales (ver figura N° 6.1).

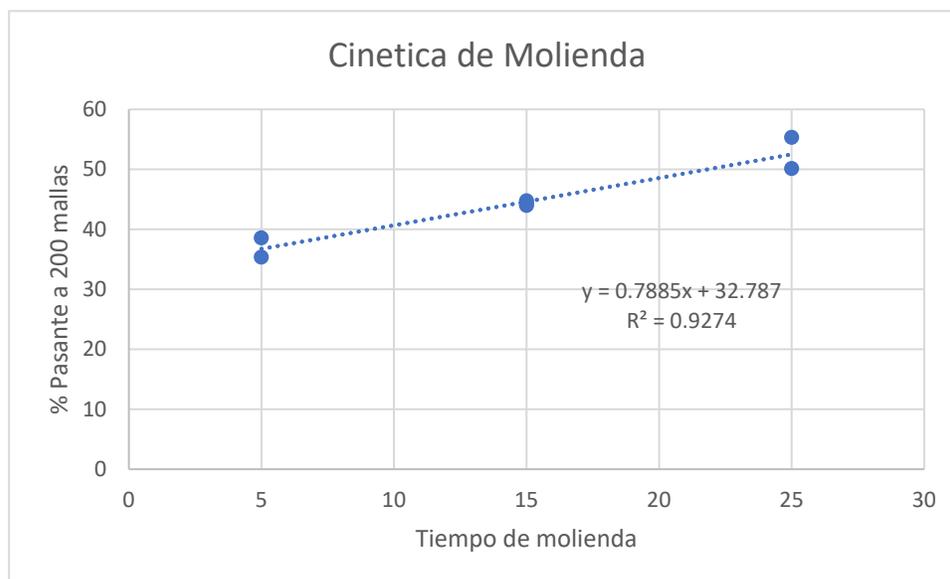
Tabla 6.1

Resumen de las variables independientes y dependientes

N° de Prueba	Tiempo de Molienda (min)	Densidad de pulpa (gr/L)	% a -200 mallas
1	5	1650	38.56
2	25	1650	55.32
3	25	1850	50.12
4	5	1850	35.34
5	15	1750	44.75
6	15	1750	43.96
7	15	1750	44.25

Figura 6.1

Grafica de Cinética de Molienda



A partir del gráfico se puede indicar que a un tiempo de 25 minutos se obtiene un 53% de mineral que pasa la malla N°200

6.1.2 Cálculo de Energía Consumida

Para determinar la energía consumida en la molienda para nuestra prueba de interés (prueba N°2) se tiene los siguientes datos:

- F80 a – 10 malla tiene un tamaño de 2000 micras
- P80 a 150 malla tiene un tamaño de 105 micras
- Se tiene una potencia de 2 HP (caballo de fuerza mecánico) que equivale a 1.4914 kW (kilovatio)

Con los datos mencionados se reemplaza en la ecuación del postulado de Bond, el cual se indica la resolución.

$$W_i = \frac{1.4914}{10 \times \left(\frac{1}{\sqrt{105}} - \frac{1}{\sqrt{2000}} \right) \times 0.146}$$

$$W_i = 13.578 \frac{kW - hr}{tc}$$

El resultado nos indica que para la matriz de cuarzo en estudio se tiene un índice de trabajo de 13.57 kilovatio – hora por tonelada corta de mineral.

6.1.3 Cálculo de Velocidad Crítica

Para determinar la energía consumida en la molienda para nuestra prueba de interés (prueba N°2) se tiene los siguientes datos:

Velocidad crítica

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$

Si

1 pulgada es a 0.254 metros

Entonces

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{0.254}}$$

$$V_c = 83.93 \text{ rpm}$$

6.2 Resultados y Análisis del Diseño Experimental

Según el diseño experimental expuesto con anterioridad, usando un diseño factorial de 2^2 con tres puntos centrales, se explica las variables y su grado de relevancia para lo cual se recurre a un software estadístico el cual nos indica lo siguiente a través del análisis de regresión múltiple.

6.2.1 Ecuación de Regresión

Según el análisis de regresión múltiple dado por el software estadístico nos indica una ecuación de regresión expresada de la siguiente manera:

(Ecuación 11)

$$Z = 56.85 + 1.655 X - 0.01362 Y - 0.000495(X)(Y) - 0.515 \text{ Pt Ctral}$$

Donde:

Z : Cantidad de mineral a -200 mallas ASTM en %

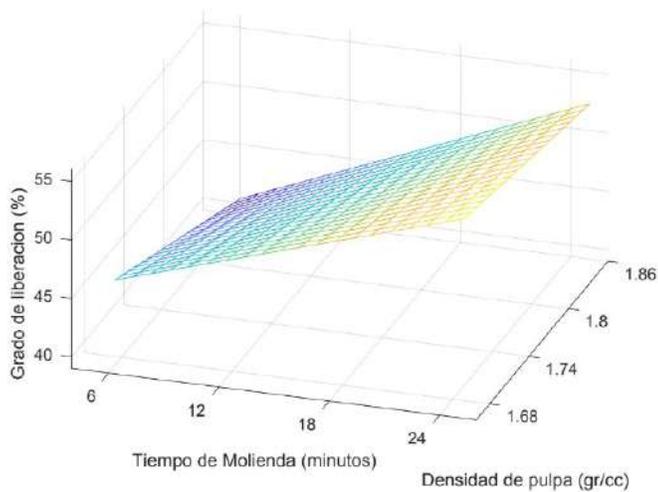
X : tiempo de molienda (minutos)

Y : densidad de pulpa (gr/cc)

Dicha ecuación de regresión se sustenta de manera gráfica, con una superficie de respuesta, el cual se indica en la figura 6.2.

Figura 6.2

Superficie de respuesta



Nota. Elaborado por los tesisistas en MATLAB

Según el análisis de regresión múltiple dado por el software estadístico nos indica un nivel de regresión de 99.88% (ver figura 6.3).

Figura 6.3*Resumen de regresión múltiple*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.399625	99.88%	99.64%	*

Nota. Elaborado en el software estadístico MINITAB**6.2.2 Análisis de Varianza**

Según el análisis de regresión múltiple dado por el software estadístico, las variables independientes o fuentes tienen un efecto significativo, puesto que el valor de P (Pearson) no supera el 0.05, pero no tiene el mismo comportamiento con la interacción de las variables independientes por lo cual no es significativo en el proceso de estudio (ver figura 6.4).

Figura 6.4*Resumen de análisis de varianza***Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	4	267.852	66.963	419.30
Lineal	2	266.417	133.208	834.12
Tiempo de molienda (min)	1	248.693	248.693	1557.25
Densidad de pulpa (gr/L)	1	17.724	17.724	110.98
Interacciones de 2 términos	1	0.980	0.980	6.14
Tiempo de molienda (min)*Densidad de pulpa (gr/L)	1	0.980	0.980	6.14
Curvatura	1	0.455	0.455	2.85
Error	2	0.319	0.160	
Total	6	268.171		
Fuente	Valor p			
Modelo	0.002			
Lineal	0.001			
Tiempo de molienda (min)	0.001			
Densidad de pulpa (gr/L)	0.009			
Interacciones de 2 términos	0.132			
Tiempo de molienda (min)*Densidad de pulpa (gr/L)	0.132			
Curvatura	0.234			
Error				
Total				

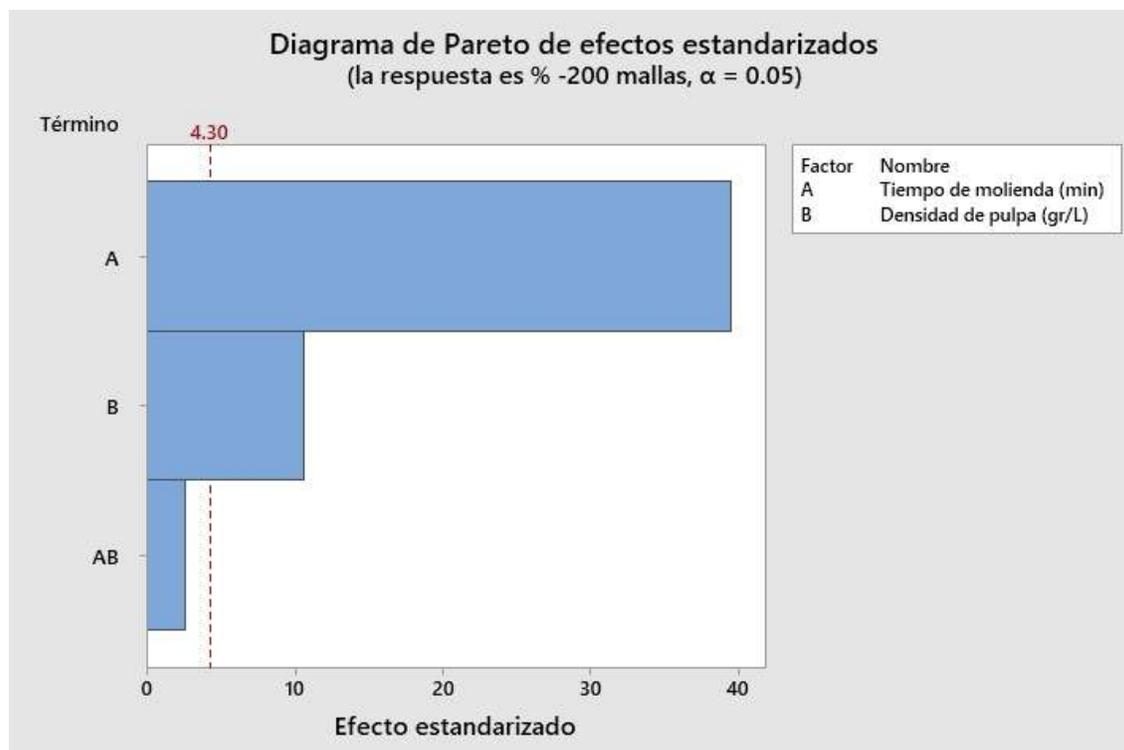
Nota. Elaborado en el software estadístico MINITAB**6.2.3 Análisis de gráfica**

Con respecto a la gráfica de Pareto, nos permite determinar el grado de magnitud y su debida relevancia de los efectos que ocurren con las variables. Las barras horizontales que sobrepasan la línea punteada de referencia indica que tiene significancia, por lo que se indica que la variable más significativa es el tiempo de molienda seguida la variable de la densidad de pulpa que también

es significativa, pero en la combinación de ambas variables no tiene la significancia puesto que no sobrepasa dicho limite. (Ver figura 6.5)

Figura 6.5

Diagrama de Pareto



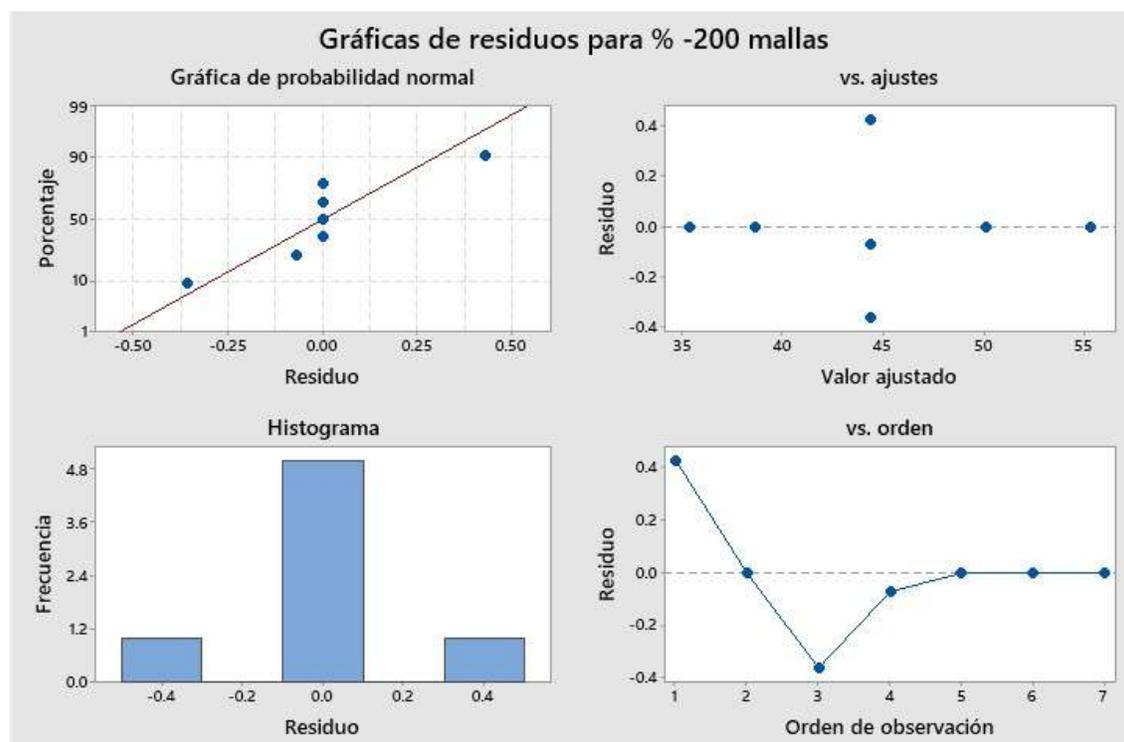
Nota. Elaborado en el software estadístico MINITAB

Con respecto a las gráficas de residuos para % -200 consiste de cuatro gráficos, el cual en la en la gráfica de probabilidad normal se muestra una distribución del tipo normal y esto se debe a la orientación ascendente de la recta; en el caso del histograma, este nos indica la existencia de tres datos por lo cual no es suficiente para indicar una simetría en los valores. En el caso del grafico de Residuos Vs. Ajuste nos sirve para comprobar si los residuos contienen una varianza constante. En el caso de el grafico Residuo vs. Orden de observación no presenta sesgo alguno,

por lo que nos señala que en un proceso repitiendo los mismos valores, no se lograra repetir el mismo resultado. (ver figura 6.6)

Figura 6.6

Grafica de residuos para % - 200



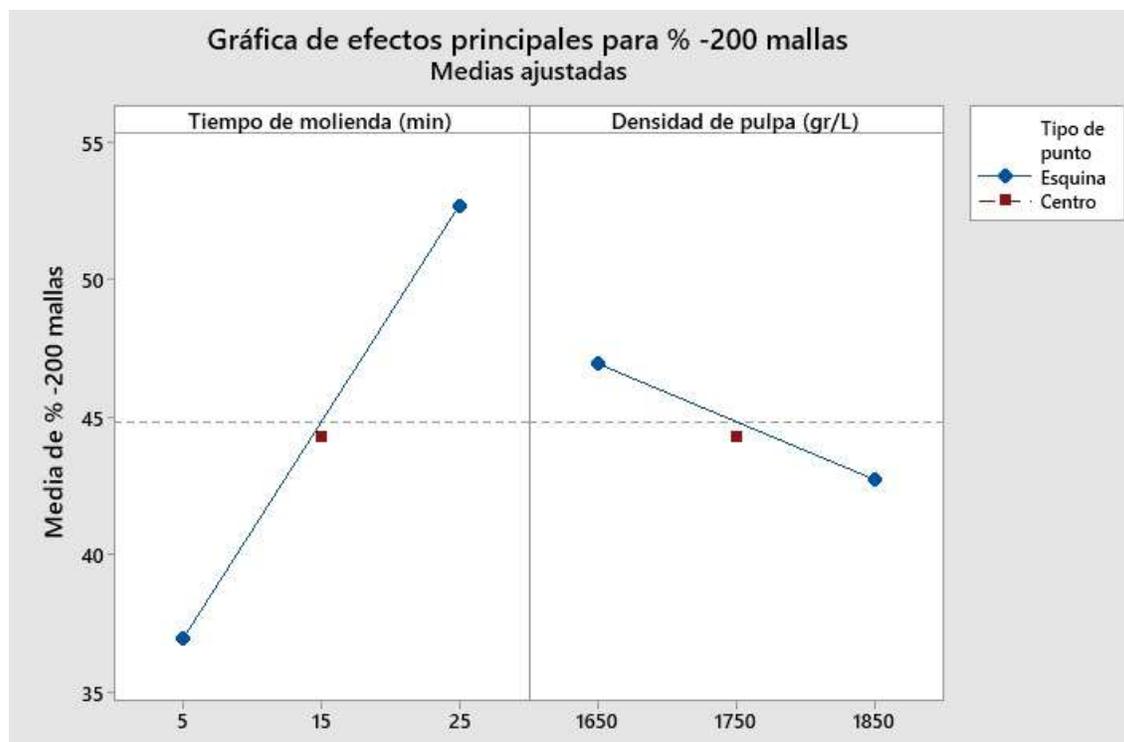
Nota. Elaborado en el software estadístico MINITAB

En la gráfica de efectos principales para % -200, en ambos casos se observa que se tiene pendientes pronunciadas, en el primer caso de Tiempo (min) vs Media de % -200 se indica una pendiente positiva, nos interpreta que a mayor tiempo de molienda tendremos un mayor porcentaje de mineral pasante a la malla 200 ASTM, pero en el segundo caso, tiene pendiente negativa, el cual a comparación de la anterior este es inversamente proporcional entre densidad

(gr/cm^3) vs Media de % - 200, por lo tanto nos indica que las variables independientes se localizan dentro de modelo indicado en el trabajo de investigación. (ver figura 6.7)

Figura 6.7

Gráfica de efectos principales para % - 200



Nota. Elaborado en el software estadístico MINITAB

6.2.4 Grado de Liberación

Como se indica en el presente trabajo de investigación, nuestra variable independiente es el grado de liberación de oro en matriz de cuarzo aplicando dos variables independientes, y por el diseño factorial de experimentos aplicando dos niveles se obtuvo cinco pruebas de las cuales tomamos en cuenta la prueba N°2 puesto que esta prueba tuvo una respuesta mayor a

comparación de las demás, la cual nos daba como resultado 55.32% de mineral pasante a malla 200; por lo tanto en dicha muestra se determinó el grado de liberación de oro por el método de microscopía óptica en un laboratorio externo, el cual nos dio un 96% de liberación de oro, por lo cual dichos resultados se adjuntan en la sección de anexos.

6.3 Discusión de resultados

Concerniente a las pruebas realizadas se observa que el tiempo de molienda y densidad de pulpa juegan un papel fundamental en la molienda de minerales en húmedo, por lo cual se entiende para las características del mineral en estudio que a mayor tiempo de molienda y menor sea la densidad de pulpa, existirá una mayor cantidad de mineral pasante a la malla -200 y por ende se entiende que tiene una relación directa porque tendría una mayor liberación de oro en matriz de cuarzo; se tiene que aclarar que existen límites en el tiempo de molienda y densidad de pulpa por el tema de minimizar el consumo de agua y la generación de lamas por el tiempo de molienda.

En la prueba N°2 se observa la mayor cantidad de mineral pasante de la malla N°200 el cual es de 55.32%, y por ende se indica líneas arriba que tiene un grado de liberación de 96%; en la prueba N°4 se observa la menor cantidad de mineral pasante de la malla N°200, puesto que el pasante de la malla N°200 es de 35.34%, por lo cual se determina la siguiente relación:

Prueba N°2 > Prueba N°5 > Prueba N°3 > Prueba N°1 > Prueba N°4

CONCLUSIONES

- Al momento de evaluar el grado de liberación máximo, este se da con una densidad de pulpa de 1650 gr/L, quiere decir que en nuestra hipótesis se indica una densidad de pulpa de 1850gr/L y para el mineral en estudio es más óptimo su liberación con la disminución de dicha pulpa.
- En el caso del tiempo de molienda óptimo, en la hipótesis se indica con 25 minutos, por lo cual este parámetro se reafirma al momento de evaluar el resultado, por lo que se consideraría tener un aumento en el tiempo de molienda.
- Evaluando el desarrollo de las pruebas planteadas a nivel de laboratorio con respecto a las variables en la molienda por vía húmeda, se tiene una liberación máxima de 96% a una malla de 55.32% de mineral pasante a malla N°200. En conclusión, para mejorar la liberación de oro en función al porcentaje de mineral que pasa la malla N°200, será necesario disminuir la densidad de pulpa y aumentar el tiempo de molienda, según sea el caso para el mineral en estudio. Mediante el uso de software MINITAB en el diseño experimental, se obtuvo un modelo matemático que nos indica el comportamiento y la relación de las variables independientes, así como, el resultado con la variable dependiente, el cual está expresado con la siguiente ecuación:

$$Z = 56.85 + 1.655 X - 0.01362 Y - 0.000495(X)(Y) - 0.515 Pt \text{ Ctral}$$

Donde podemos inferir que la variable de mayor incidencia es el tiempo de molienda y como su relación con la densidad de pulpa tienen influencia en el grado de liberación del mineral metálico de valor con respecto a la ganga presente en el estudio de investigación.

BIBLIOGRAFIA

- 911 Metallurgist. (n.d.). Molinos SAG o AG. 911metallurgist.com.
<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/molinos-sag-o-ag/>
- Arriaga, M. G. (2013). Curso de molienda.
<https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633>
- Arslan, Y., Matoušek, T., Kratzer, J., Musil, S., Benada, O., Vobecký, M., ... & Dědina, J. (2011). Gold volatile compound generation: optimization, efficiency and characterization of the generated form. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26(4), 828-837.
- Gomes, P. (2016). Grado de Liberación de Diferentes Tipos de Mineral de Hierro de las Minas de Alegria (Mariana-MG) y su Influencia en las Etapas de Conminución y Concentración (tesis de Maestría). Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Blanco, A. (2017). Pulpas.
http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/693/course/section/703/3._pulpas.pdf
- Blog de Procesamiento de Minerales (2012). Mecanismos de conminución.
<https://procesaminerales.blogspot.com/2012/05/chancado-mecanismos-de-conminucion.html>
- Bravo, A (2003). *Manual de molienda y clasificación de minerales*. Huancavelica: EMYSA.

- Bazan, B (2019). *Reducción de la velocidad crítica para mejorar el radio de reducción en molinos 8x10 en la Planta Concentradora de Sociedad Minera El Brocal S.A.A., Pasco-2019* (tesis de Grado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- Córdor Espíritu, J. A., & Huamán Castillo, P. E. (2017). *Evaluación y determinación de parámetros para Molienda y flotación en minerales oxidados con contenido de oro y cobre.*
- Dana, H. (1959). *Manual de mineralogía.* México: Editorial REVERTE.
- Dariah, G. (2016). *Minerales/ Estados Unidos de América (USA).*
<https://www.pinterest.es/pin/475692779371790419/?lp=true>
- Gebr. Pfeiffer (2018). Principio constructivo y datos técnicos de molino de bolas.
<https://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-de-bolas-mrdmre/>
- Google Earth (2023). Mapa Geográfico Perú/Cusco.
https://earth.google.com/web/search/Cusco+region/@-13.33314034,-72.14990335,3199.3873005a,1156436.54573028d,35y,0h,0t,0r/data=CncaTRJHCiUweDkxNmM1MmY0ZmVkMDIiY2Q6MHg2MjNiMDI0NzQ3NGEwNjQzGRUYsrV3yvAIZV45R-i5FHAKgxDdXNjbyByZWdpb24YAIAiABliYKJAiMMj2-SvAqwBH-OMclai4rwBITNIh-7_NRwCH1EZDRSQRSwA
- Kelly, E. & Spottiswood, D. (1990). *introducción al procesamiento de minerales.* México: Editorial LIMUSA.
- Lambert, A. (2006). *Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto.* Chile.

- Maquinaria Pesada de ATAIRAC DE SHANGHSI S.A. (2018). Molino de barras. <http://atairaces.industrialmanufacturer.net/products/Crusher/molino-debarras-de-alta.html>
- MIMESE (2019). Molinos de barra para la industria minera. <https://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-de-bolas-mrdmre/>
- Minera San Cristóbal (2011). Molino SAG. <https://www.flickr.com/photos/minerasancristobal/6344648114>
- Miranda, L. & Medina, E. (2015). *Investigando en ingeniería*. Arequipa: Editorial UNSA.
- Monge, R. & Valencia, M. & Sanchez, J. (1998). *Geología de los cuadrángulos de Llochegua, Rio Picha y San Francisco*, INGEMMET.
- P y S Equipos (2020). Granulometría (tamices). <https://pys.pe/producto/granulometria-tamices/>
- Pellant, C. (1993). *Manuales de identificación de rocas y minerales*. Barcelona: Ediciones OMEGA.
- Pereyra, M. & Quevedo, C. (2009). *Optimización del circuito de molienda en la empresa minera DOE RUN PERU S.R.L. división coriza* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad, Cusco, Perú.
- Puma, A. & Samanez, C. (2015). *Determinación de los parámetros de molienda y flotación para alcanzar el equilibrio entre grado y recuperación de muestras mineralógicas de Cu-Au* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

- Rivera, J. (2003). *Compendio de conminución*. Lima: Editorial UNMSM
- Ros, A. (2012). RECUPERACION SOBRE LA METALURGIA DEL ORO. Recuperado de https://www.academia.edu/31354392/Metalurgia_del_Oro_Au_
- Salazar Cruz, O. A. (2020). Aptitud en la molienda de minerales mixto para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa Macdesa-2018.
- Trituradoras de Roca. (n.d.). Molienda. Trituradoras-de-roca.com. <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Molienda>
- Universidad Nacional del Sur (2013). Recuperado de <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo9.pdf>
- Universidad Politécnica de Cartagena (2013). Escuela de Ingeniería de Caminos y de Minas. Recuperado de http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5549/mod_resource/content/1/Tema_5_-_Molienda_II_.pdf
- Universidad Centroamericana (2014). Recuperado de <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULO METRIA.pdf>
- Vargas, L. & Romero, A. (1998). *Geología de los cuadrángulos de río pinquen, Pilcopata y Chontachaca*, INGEMMET.
- Yannopoulos, J. C. (2012). *The extractive metallurgy of gold*. Springer Science & Business Media.

ANEXOS

ANEXO N°01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	VARIABLES/INDICADORES	METODOLOGIA
<p>¿A qué tamaño de partícula se alcanza la mayor liberación de oro en la matriz de cuarzo?</p> <p>Específicos ¿Cuál será la densidad de pulpa para la molienda? ¿Cuál será el tiempo de residencia de mineral en molienda?</p>	<p>General Determinar el tamaño de partícula adecuado para obtener un grado de liberación de oro óptimo a partir de mineral de cuarzo.</p> <p>Específicos Determinar la densidad de pulpa adecuada para la molienda del mineral. Determinar el tiempo de molienda óptimo para la molienda.</p>	<p>ECONOMICA. Los costos de operación de molienda, justificara el grado de liberación de oro a partir de mineral de cuarzo.</p> <p>AMBIENTAL. Determinaremos un tamaño adecuado de mineral, que no comprometa con el medio ambiente.</p> <p>TECNICA. Determinar los parámetros de molienda, obtendremos el grado de liberación, dando beneficios a la empresa, en cuanto al tiempo de molienda y la cantidad de agua requerida para molienda.</p>	<p>Principal A un tamaño de -200 malla, se libera el oro en más del 60% del mineral de oro de una matriz de cuarzo</p> <p>Específicos Se obtiene un grado de liberación adecuado con una densidad de pulpa de 1850 gr/L. Se obtiene un grado de liberación óptimo en un tiempo de 25 min.</p>	<p>Variable dependiente Porcentaje de oro liberado a un tamaño específico.</p> <p>Variables independientes Densidad de pulpa Tiempo de molienda.</p> <p>Indicador dependiente Porcentaje de liberación de oro en mineral de cuarzo.</p> <p>Indicador independiente Gramos de mineral por litro de agua. Intervalo de tiempo expresado en minutos.</p>	<p>ANALITICO: Se analizará el problema planteado, y comprender el concepto de dicho problema y reconocer sus componentes</p> <p>INDUCTIVO: se explicará los datos para poder determinar un resultado deseado</p> <p>DEDUCTIVO: a partir de los datos obtenidos se observará el proceder de la operación de Molienda</p> <p>RECOLECCION DE DATOS: para poder obtener mayor manifiesto se recurrirá a información bibliográfica, trabajos de investigación, publicaciones, etc.</p> <p>METODO EXPERIMENTAL: las variables independientes estarán sometidos a modificación voluntaria para establecer los cambios del producto.</p>

ANEXO N°3: Presupuesto

N°	DETALLE		ACTIVIDAD	CANT.	UND.	COSTO UNITARIO (S/)	COSTO TOTAL (S/)
1	Equipos	De protección personal	EPPs	1	Kit	200	200.00
2		De campo	Alquiler de auto	1	Und	120	120.00
3		De gabinete	Laptop	1	Und	30	30.00
4			GPS	1	Und	40	40.00
Subtotal							390.00
1	Herramientas	De Campo	Bolsa de muestreo	100	Und	0.50	50.00
2			Comba y cincel	2	Und	40	80.00
3			Lupa de exploración	2	Und	30	60.00
Subtotal							145.00
1	Servicios		Análisis químico	16	Und	80	1280.00
2			Transporte				300.00
3			Estudios Mineragraficos				1000
Subtotal							1780.00
1	Material	Bibliográfico	Libros	6	Und	50	300.00
2			Revistas	7	Und	8	56.00
3			impresión				50.00
4		escritorio	kit	kit			150.00
Subtotal							556.00
TOTAL							3871.00

ANEXO N°4: Panel fotográfico de actividades en la mina Qorichay



ANEXO N°5: Panel fotográfico de actividades realizadas en laboratorio de procesamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco













ANEXO N°6: Resultados de laboratorio externo con respecto a la tabla N°5.15

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura – Arequipa
RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0025

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024030	Mineral de Cabeza	Mineral Molido	7.800	0.228


JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
Ingeniero Metalurgista
CIP N° 231530

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura – Arequipa
RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0015

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

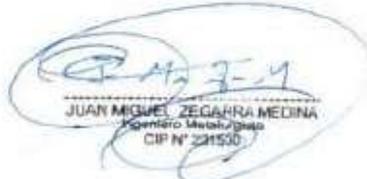
MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024021	Prueba N°1 Retenido-Malla #200	Mineral Molido	1.720	0.050


JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
Ingeniero Metalurgista
CIP N° 221520

LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0016

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024022	Prueba N°1 Pasante-Malla #200	Mineral Molido	4.820	0.141



JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 231530

LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0017

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024023	Prueba N°2 Retenido-Malla #200	Mineral Molido	1.710	0.050



JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 231535

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura – Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0018

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

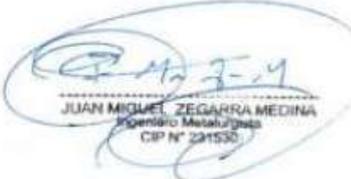
MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024024	Prueba N°2 Pasante-Malla #200	Mineral Molido	5.310	0.155


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 231530

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura – Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0019

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024025	Prueba N°3 Retenido-Malla 200	Mineral Molido	1.800	0.053


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 221530

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura – Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0020

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atencion : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024026	Prueba N°3 Pasante-Malla 200	Mineral Molido	5.020	0.146


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 221530

LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0021

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024027	Prueba N°4 Retenido-Malla #200	Mineral Molido	1.540	0.045



JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 231530

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura - Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0022

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

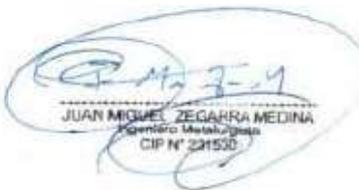
MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024028	Prueba N°4 Pasante-Malla #200	Mineral Molido	4.750	0.139


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 221530

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura - Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0023

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024029	Prueba N°5 Retenido-Malla #200	Mineral Molido	1.810	0.053


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Laboratorio Metalurgico
 CIP N° 231536

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura – Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0024

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024030	Prueba N°5 Pasante-Malla #200	Mineral Molido	5.140	0.150


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CIP N° 221530

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura - Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALÚRGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0023

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

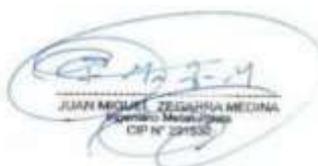
MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024031	Prueba N°6 Pasante-Malla 200	Mineral Molido	5.200	0.151


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Laboratorio Metalúrgico
 CPM N° 201935

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura - Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0023

29/02/2024

Razón Social o Nombre :: Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección :: NO PROPORCIONADA
Atención :: Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción :: DZ

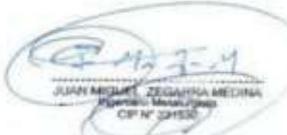
MUESTRA

Procedencia :: Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024032	Prueba N°6 Retenido-Malla #200	Mineral Molido	1.790	0.075


 JUAN MIGUEL ZEDAGHA MEDINA
 Ingeniero Metalurgista
 CEP N° 01553

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura - Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0023

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayna Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024033	Prueba N°7 Pasante-Malla 200	Mineral Molido	5.170	0.150


 JUAN MOLLET ZEDAGLIA MEDINA
 Ingeniero Metalurgico
 CIP 14 24552

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "B" Lt 4 Yura – Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALÚRGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2024-0023

29/02/2024

Razón Social o Nombre : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Dirección : NO PROPORCIONADA
Atención : Ruben Auccaise Martinez // Jheyson Velazquez Serrano
Recepción : DZ

MUESTRA

Procedencia : Wayta Inka Paucartambo, Paucartambo Cusco

ANÁLISIS POR LOTE DE MINERAL

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Au g/TM	Au oz/TC
CPMA-2024034	Prueba N°7 Retenido-Malla #200	Mineral Molido	1.830	0.076


 JUARY MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Laboratorio Metalúrgico
 CIP N° 201536

CEPROMET Minera Porvenir S. A. C.
 APIPA sector IX Mz. "H" Lt 4 Yura - Arequipa
 RUC: 20455230714



LABORATORIO QUÍMICO METALURGICO

INFORME DE ENSAYO N° CPM-A-2023-024

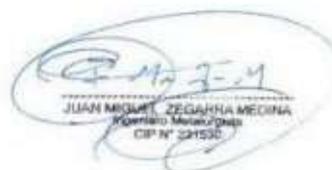
11/10/2023

Razon Social o Nombre : Rubén Darío
Dirección : No Proporcionada
Atención :
Recepción : DZ

MUESTRA

RESULTADOS

Código	Nombre de Muestra	Descripción de Muestra	Ag g/TM	Au g/TM	Ley Au oz/TC
CPMA-2023-77	M1	MINERAL	470	6.60	1.92


 JUAN MIGUEL ZEGARRA MEDINA
 Gerente General
 CIP N° 241532

CEPROMET Minera Porvenir SAC

ANEXO N°7: Autorización de uso de información para desarrollar tesis de investigación.



CORPORACIÓN AURÍFERA ELECTRUM S.A.
RUC:20606099721

CARTA DE AUTORIZACION DE USO DE INFORMACION DE EMPRESA

El que suscribe:

Sr Hugo Macedo Aguilar identificado con DNI N° 43134513, Gerente General de la empresa CORPORACION AURIFERA ELECTRUM S.A. con RUC 20606099721.

AUTORIZA

Que, los Srs. **RUBEN DARIO AUCCAISE MARTINEZ**, identificado con DNI. 70892450, y **JHEYSON RAUL VELASQUEZ SERRANO**, identificado con DNI. 73985097, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, para que utilice la siguiente información de la empresa:

- Uso de las instalaciones de laboratorio químico metalúrgico.
- Recolección de muestras de mineral de los yacimientos de la concesión Wayna Inka.
- Entre otros que vean por conveniente;

Con la finalidad de que puedan desarrollar su trabajo de tesis para optar el título profesional de Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Cusco, 31 de marzo del 2023



DOMICILIO FISCAL: MZA. D LOTE. 35 ASC. LA PLANICIE CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIAN

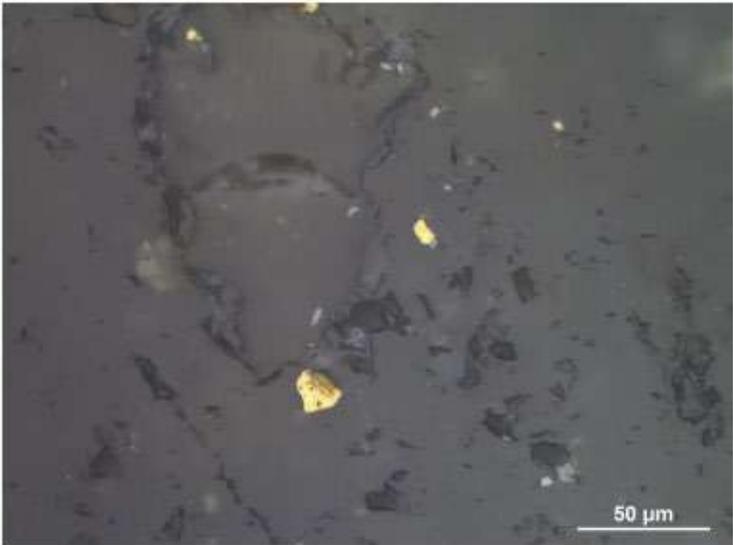
**ANEXO N°8: Resultados de laboratorio externo con respecto al estudio minerográfico
del mineral aurífero**

 **Anglo Peruana Terra**

Estudio minerográfico de 1 muestras de mano

Proyecto Mineral Aurífero

Informe Nro: APT23-PM018



Para: **Ruben Dario Auccaise Martinez**

Por: 

Ing. Mario Díaz Isuiza
N° Reg. CIP: 304274
APT - Departamento de Petrominerografía

Noviembre 2023



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	2
MINERAGRAFÍA.....	2
Mineral aurífero.....	2



INTRODUCCIÓN

El bachiller Ruben Dario Auccaise Martinez de Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco envió una muestra de mano para estudio mineragráfico. El estudio mineragráfico fue realizado con el microscopio petromineragráfico MEUI serie ML9430.

MINERAGRAFÍA

Mineral aurífero

Estructura: de relleno de cuarzo y pirita

Descripción mineragráfica: Estructura mineralizada de gangas (principalmente cuarzo) y pirita. Se observan algunos parches de calcopirita y pirrotita relleno de intersticios. Los cristales de pirita presentan inclusiones de galena, esfalerita, calcopirita y pirrotita. Las gangas también contienen finas inclusiones de calcopirita, pirita y pirrotita. Ocurren escasas inclusiones, a nivel de trazas, de oro nativo en las gangas (cuarzo). El oro nativo tiene tamaños que van entre 6 y 18 micras.

Mineral	%
Gangas	64
Pirita	35
Pirrotita	0.5
Calcopirita	0.5
Galena	Trazas
Esfalerita	Trazas
Oro nativo	Trazas

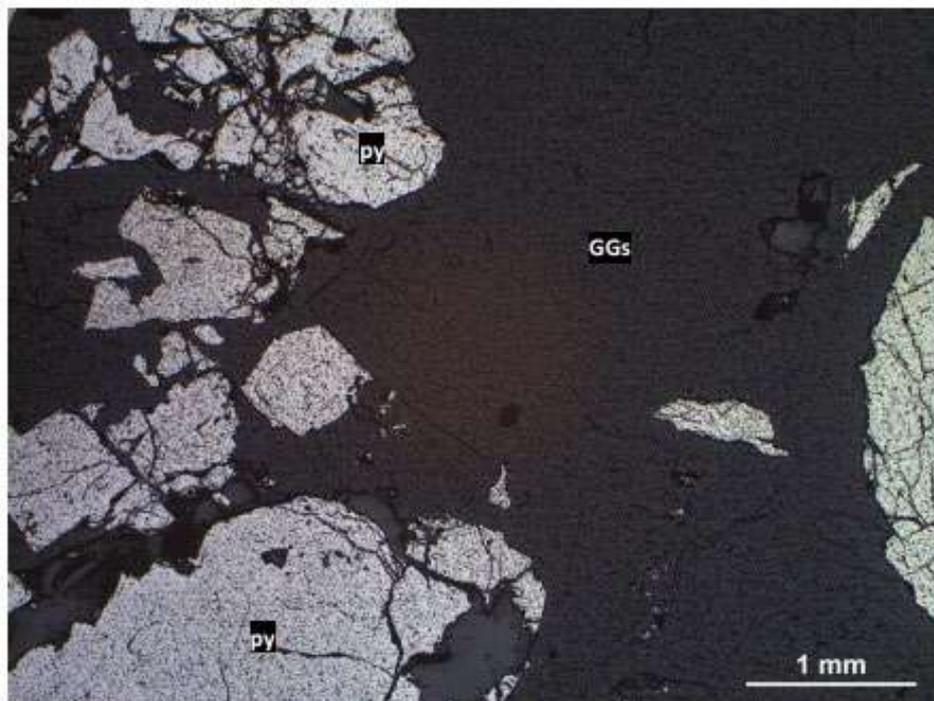
Ilustraciones:


Ilustración 1. Luz reflejada, nicoles paralelos. Estructura mineralizada conformada por agregados de gangas (GGs) y cristales de pirita (py).

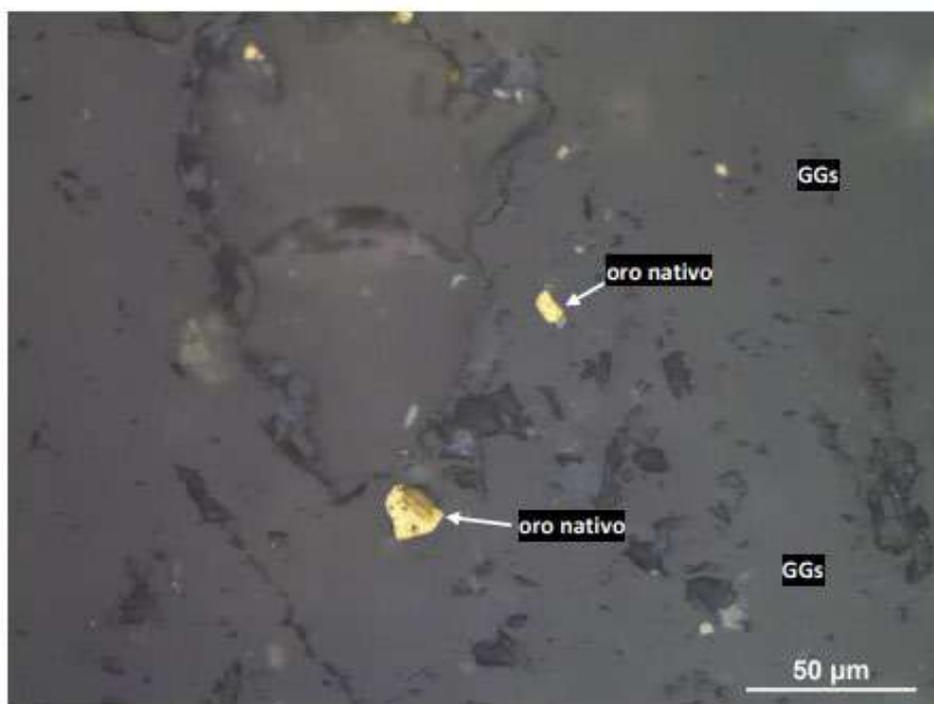


Ilustración 2. Luz reflejada, nicoles paralelos. Cristales de oro nativo como inclusiones en gangas (GGs). El tamaño de las inclusiones no excede las 20 micras.

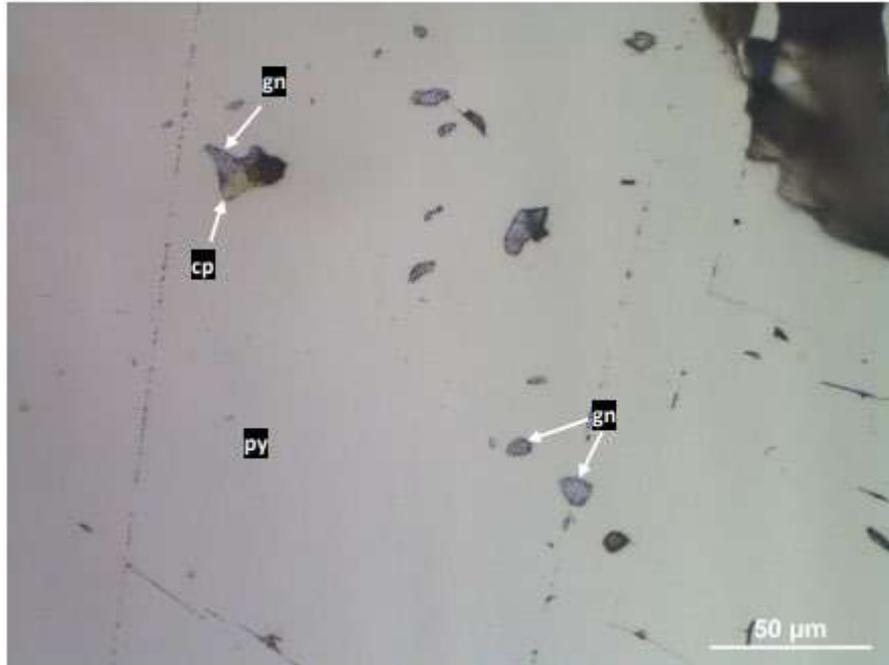


Ilustración 3. Luz reflejada, nicoles paralelos. Inclusiones de galena (gn) y calcopirita (cp) en un cristal de pirita.

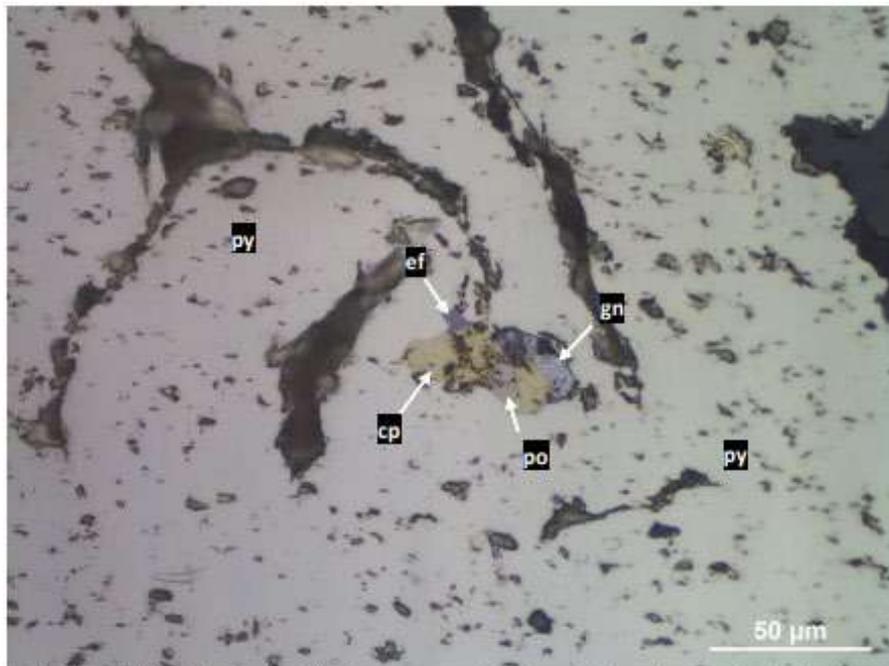


Ilustración 4. Luz reflejada, nicoles paralelos. Cristal de pirita con una inclusión compleja formada por parches de calcopirita, pirrotita (po), galena y esfalerita (ef).

ANEXO N°9: Resultados de laboratorio externo con respecto al estudio mineralógico del mineral aurífero para la determinación del grado de liberación.



Análisis mineralógico de una muestra metalúrgica

Informe Nro: APT24-PM005



Para: **Rubén Dario Aucchaise Martínez**

Por:



Ing. Mario Díaz Isuiza
N° Reg. CIP: 304274
APT - Departamento de Petrominerografía



ANÁLISIS MINERALÓGICO POR MICROSCOPIA ÓPTICA

1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

Finas a -200 mesh, seca.

2. DISTRIBUCIÓN VOLUMÉTRICA O PORCENTAJE AREAL Y GRADO DE LIBERACIÓN:

Véase las dos siguientes páginas.

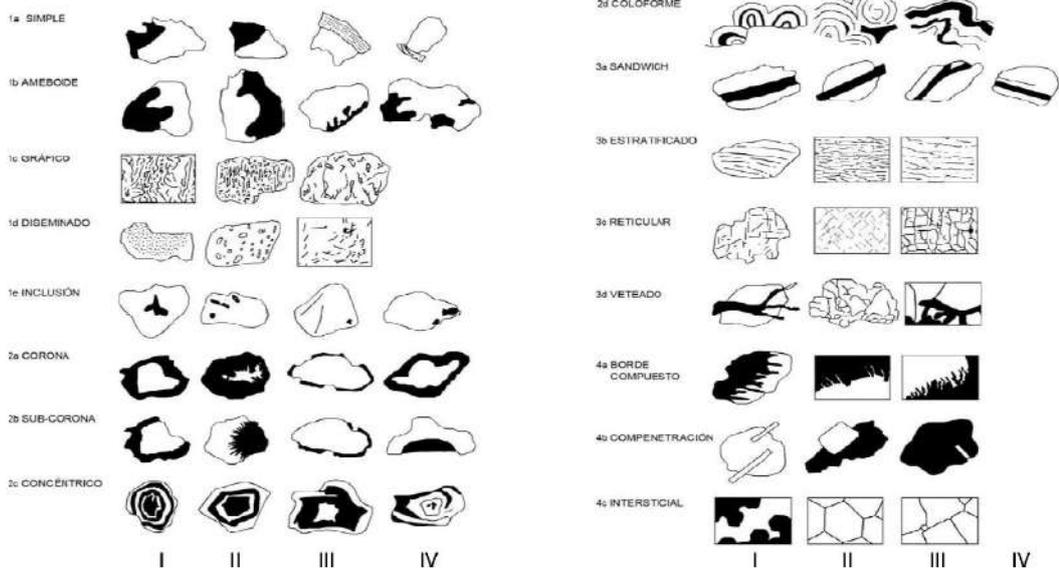
ANÁLISIS MINERALÓGICO

Minerales libres	Número de granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Grado de Liberación (%)	GGs	py	ef	Au	gn	rt	cp	CGRs	jar	hm	goe
Gangas	1414	3676.00	81.15	99.50	81.15										
Pirita	23	112.70	2.53	90.00		2.53									
Esfalerita	7	28.00	0.56	99.20			0.55								
Oro	6	115.80	2.60	96.00				2.60							
Galena	4	30.40	0.62	99.60					0.62						
Rutilo	3	12.69	0.29	98.00						0.29					
Calcopirita	3	12.60	0.28	98.00							0.28				
Cobres grises	1	4.28	0.10	96.00								0.10			
Jarosita	1	3.08	0.07	96.00									0.07		
Hematita	5	23.85	0.44	13.60										0.44	
Goethita	22	104.95	2.26	31.42											2.26
Minerales asociados				Asociaciones											
hm-goe	80	381.6	9.10	Variado										3.75	5.35
Total	1569	6045.9	100.00		82.64	2.53	0.63	1.3	0.68	0.29	0.28	0.1	0.07	4.19	7.61
					GGs	py	ef	Au	gn	rt	cp	CGRs	jar	hm	goe





TIPOS DE INTERCRECIMIENTOS





3. MINERALES PRESENTES DEL ANÁLISIS MODAL O PORCENTAJE AREAL:

Las distribuciones volumétricas son obtenidas en porcentajes, asimismo el grado de liberación de los minerales presentes, los cuales se proporcionan en el análisis modal.

Minerales	Volumen (%)	Grado de liberación (%)
Gangas	81.15	99.50
Pirita	2.53	90.00
Esfalerita	0.56	99.20
Oro	2.60	96.00
Galena	0.62	99.60
Rutilo	0.29	98.00
Calcopirita	0.28	98.00
Cobres grises	0.10	96.00
Jarosita	0.07	96.00
Hematita	4.19	13.60
Goethita	7.61	31.42

4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA MUESTRA:

Los minerales identificados fueron la hematita, goethita, pirita, esfalerita, oro, galena, rutilo, calcopirita, cobres grises, jarosita y gangas.

Análisis de los grados de liberación de los minerales presentes:

De acuerdo al punto 4 la observación de los grados de liberación de los minerales presentes en el análisis modal son las siguientes:

Pirita, ocupa 2.53% del volumen total de la muestra, siendo su grado de liberación del 90%, no presenta intercrecimientos.

Esfalerita, se tratan de fragmentos de esfalerita rica en hierro, se encuentra en un 0.56% del volumen total de la muestra, siendo su grado de liberación de 99.20%.

Oro, está en un 2.60% del volumen total de la muestra, de este volumen el 96% se halla libre, y no presenta intercrecimientos.

Galena, su volumen total es del 0.62%, de este volumen porcentual, el 99.60% se halla libre.

Rutilo, ocupa el 0.29% del volumen total de la muestra, siendo su grado de liberación del 98%.

Calcopirita, se presenta en un 0.28% del volumen total de la muestra el cual se halla liberado en un 98%.

Cobres grises, se encuentra en un 0.10% del volumen total de la muestra, y el grado de liberación representa el 96%, de minerales libres.

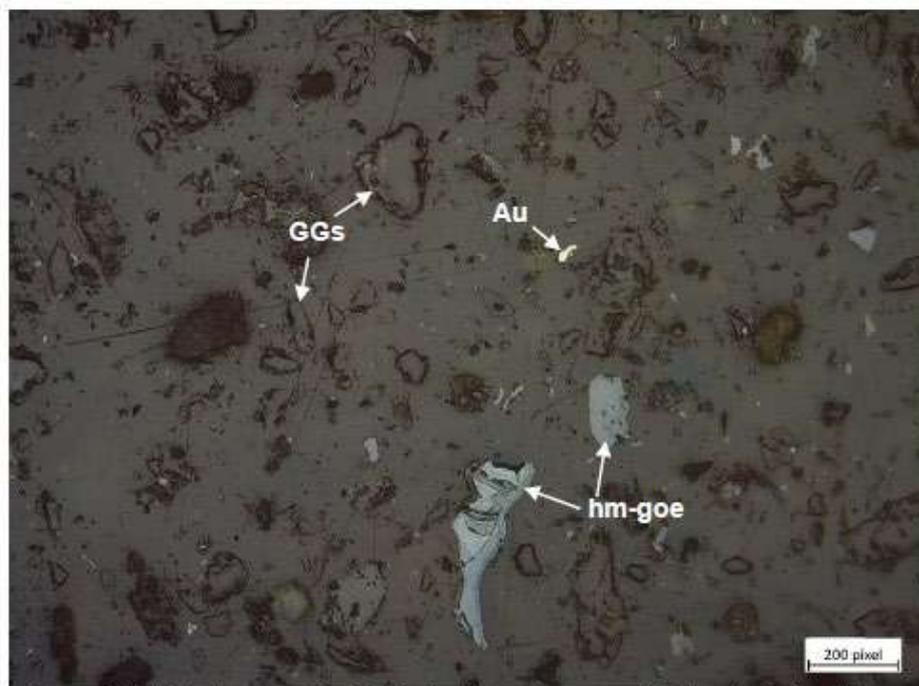
Jarosita, ocupa el 0.07%, del volumen de la muestra, de dicho volumen el 96% se hallan libres.



Hematita, representa el 4.19% del volumen total de la muestra, siendo su grado de liberación el 13.60%, en tanto el 81.15% se encuentra por liberar debido a los diferentes tipos de intercrecimientos en que se halla.

Goethita, ocupa 7.61% del volumen total de la muestra, siendo su grado de liberación del 31.42%, la esfalerita se halla en 68.58% por liberar, debido a los diferentes tipos de intercrecimientos que se encuentra asociado con los sulfuros y las gangas.

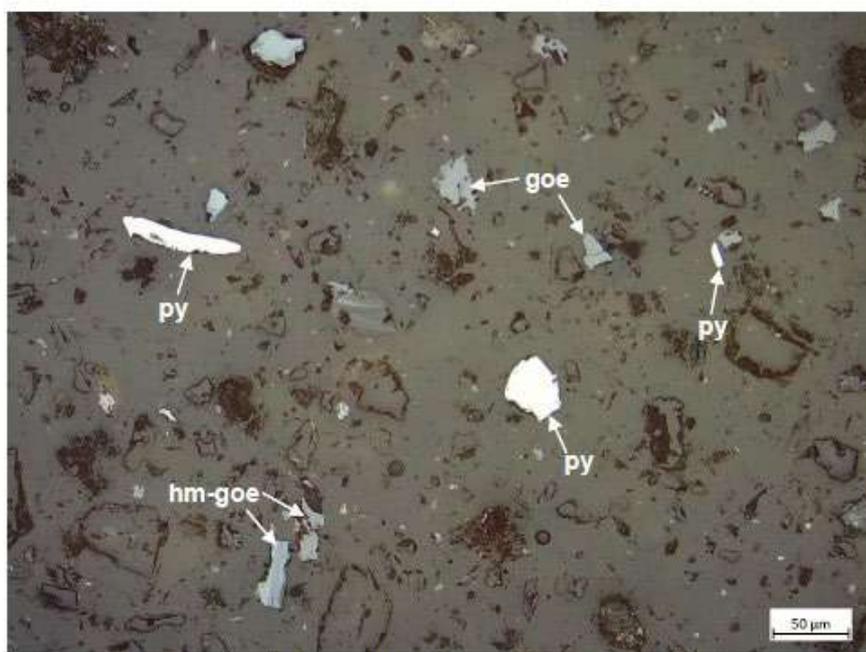
5. FOTOMICROGRAFIAS.-



Fotomicrografia 1. Nícoles paralelos. Partículas libres de gangas (GGs) y de óxidos de hierro (hm-goe). Se observa un pequeño grano de oro (Au).



Fotomicrografía 2. Nicoles paralelos. Partículas libres de galena (gn) y pirita (py). Se observan abundantes granos de gangas (GGs).



Fotomicrografía 3. Nicoles paralelos. Partículas libres de pirita (py) y óxidos (hm-goe).

ANEXO N°10: Instructivo para análisis minerográfico de grado de liberación

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 1 de 8

1. FINALIDAD

Identificar minerales libres, asociados y sus intercrecimientos, para cuantificar el porcentaje en peso, porcentaje areal y grado de liberación, mediante el la técnica de conteo de granos realizada en un Microscopio de polarización de Luz Reflejada y/o Transmitida.

2. ALCANCE

El presente instructivo especifica los métodos para hacer el Análisis Mineralógico de Grado de Liberación. Se debe considerar que se aplica en muestras no fragmentados de afloramientos mineros, testigos de perforación diamantina y en fracciones granulométricas de mallas variables de muestras de productos metalúrgicos de planta. Incluye la determinación de otras especies minerales presentes, tipos de enlaces menas/menas y menas/gangas, fotomicrografías de aspectos resaltantes, informe respectivo. Cabe resaltar que algunos tipos de análisis requieren de métodos adicionales como análisis químico y físico, estos métodos no serán descritos en este instructivo.

El desarrollo de las actividades comprende desde la recepción de las secciones pulidas de concentrados o relaves hasta la entrega del informe de Análisis Mineralógico correctamente llenado en el formato de Análisis Mineralógico de Grado de Liberación: DL-F-011.

3. DOCUMENTOS A CONSULTAR

- 3.1. W. Uytendogaardt. Tables for microscopic identification of ore minerals.
- 3.2. Paul Ramdhor. The ore minerals and their intergrowths.
- 3.3. P. Picot Johan Z., Atlas of ore Minerals.

4. REQUISITOS

Para el tratamiento de una muestra que sale de mina, se debe fragmentar y luego separar por medio de tamices a efectos de obtener una serie de fracciones granulométricas.

Para tal caso la muestra es usualmente chancada al 100% dando una granulometría menor a 1/2" y el material que pasa es clasificado utilizando malla 20, 48, 65, 100, 150, 270 y 400.

Para estudios destinados a otros procesos de concentración, la muestra es generalmente chancada al 100% dando una granulometría menor a malla 20 y luego se tamiza utilizando malla 48, 100, 150, 270 y 400.

En el caso de estudios relacionados con equipos o plantas en operación, lógicamente la muestra ya está fragmentada (normalmente molida) y solo hay que clasificarla granulométricamente mediante tamices: el número de tamices y las mallas a utilizar, varían en cada caso.

Preparación de sección delgada o pulida.

De cada fracción granulométrica obtenida (cuyo porcentaje con respecto del peso total de la muestra ha sido oportunamente establecida) debe confeccionarse la sección delgada o pulida correspondiente para el estudio microscópico.

5. RESPONSABILIDADES

- 5.1 El Profesional Especialista en Análisis Mineralógico de grado de liberación encargado de hacer el análisis entrega el formato de Análisis Mineralógico de grado de liberación: DL-F-debidamente llenado, al responsable del Laboratorio de Petromineralogía.

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 2 de 8

- 5.2 El Responsable del Laboratorio de Petromineralogía, se encarga de elaborar y entregar el informe de estudios petrográficos a la Dirección de Laboratorios.

6. ETAPAS DEL INSTRUCTIVO

El análisis mineralógico de grado de liberación, consiste en el conteo de granos a través del microscopio de polarización, para lo cual primero se recopila los datos en la tabla de conteo de granos ver ANEXO N° 01, se diferencia las partículas libres y mixtas así como sus amares, con estos datos se procede a llenar la hoja de calculo Tabla AMGL. Xlxs., con el cual se calcula el porcentaje areal, volumen en peso de cada mineral, libre y mixto, y grado de liberación. Luego con estos resultados se realiza el llenado del formato de Análisis Mineralógico de grado de Liberación DL-F-011, empezando con el Análisis general de la muestra que consiste en descripción de la muestra y los gráficos de intercrecimientos y asociaciones, descripción mineralógica, gráficos de resultados del grado de liberación de los minerales presentes y porcentaje en peso total. Finalmente se adjunta la Tabla AMGL. Xlxs: análisis mineralógico, fotomicrografías, recomendaciones y observaciones.

Para la realización el Análisis Mineralógico de grado de liberación se requiere la siguiente instrumentación:

- ❖ Microscopio Petrográfico
- ❖ Carrito móvil
- ❖ Contador de puntos (opcional)

- 6.1. Para que el estudio microscópico resulte verdaderamente útil, la condición previa, indispensable es definir exactamente la naturaleza del problema. De acuerdo a esta se orientará adecuadamente la metodología a seguir.

Asimismo, cabe resaltar que la determinación del grado de liberación no solo es útil para investigaciones en un diseño previo de un proceso de tratamiento metalúrgico, evaluar el equipo de molienda y clasificación, o para incrementar la eficiencia de planta en operación, sino en general, se aplica para todo estudio microscópico cuantitativo de muestras minerales fragmentadas, que incluyan el grado de liberación.

Adicionalmente para efectos de cálculo del grado de liberación, se registra el área correspondiente a cada mineral, dado que se considera a todos los granos equigranulares similar e igual a 100% y de igual manera se fija a los granos como área mínima registrable en 5%.

Para el cálculo del porcentaje de abundancia, estos se calculan a partir de los datos de la hoja de registro, donde se calcula para cada especie mineral y para cada tipo de amarre.

El tamaño de grano de los minerales es una magnitud importante para la mineralogía de procesos y es usual efectuar su medición desde dos perspectivas bien diferenciadas.

- a) Ensamblajes mineralógicos originales, para predecir la posibilidad de liberación y los tamaños óptimos de molienda requeridos.
- b) Ensamblajes mineralógicos triturados, para evaluar la eficiencia de las operaciones de liberación, efectuadas y proponer las correcciones requeridas.

6.2. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

Para realizar el estudio se debe tomar las siguientes recomendaciones:

- ❖ Hacer un barrido de toda la sección para ver la homogeneidad o variabilidad, esto para planificar la cantidad de campos a considerar.

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 3 de 8

- ❖ Las secciones deberán estar identificadas mediante el tipo de material que las contiene de cabeza, concentrado, relave o arenas.
- ❖ Para la selección del objetivo, usar el que nos proporcione veinte partículas aproximadamente en el campo de visión.
- ❖ Para el caso de registros cuantitativos, es conveniente establecer un límite mínimo del área ocupada por cada una de las especies minerales, a efecto de distinguir entre partículas libres y mixtas, tomando en cuenta razones prácticas de velocidad de trabajo, se ha fijado en 5% el mínimo de área que debe ocupar una especie mineral para ser considerada como participante en una partícula mixta.
- ❖ Entonces si una especie mineral constituye más de 95% del área de un grano, dicho grano se considera libre.
- ❖ Para especies minerales constituyan menos del 5% solo se registra cualitativamente y en tablas de resultados, registradas como trazas.

6.2.1. Conteo de granos, para esto se utiliza la Tabla de conteo de granos, ver ANEXO N° 01 el cual será llenado tomando las siguientes parámetros:

- ❖ El conteo se realizara tomando una malla de veinte campos aproximadamente
- ❖ Cada campo de visión debe contener veinte granos aproximadamente.
- ❖ Los espaciamientos deben ser constantes en sentido horizontal y vertical.
- ❖ Se registra el tipo y características de las partículas estas son clasificadas en partículas libres (monominerales) y mixtas (poliminerales). Así como, sus intercrecimientos según el ANEXO N°2.
- ❖ Para las partículas mixtas, se coloca el porcentaje de cada mineral.

6.2.2. Análisis Mineralógico de grado de liberación, con los datos obtenidos en la tabla de conteo, se llena la hoja de cálculo Tabla AMGL.xlsx:

Para el llenado de la hoja de cálculo se debe tomar en cuenta:

- a. Para granos libres, se coloca el nombre del mineral.
- b. Para granos mixtos, en este caso se representa por sus abreviaturas separados por barras
- c. # granos, son los totales obtenidos en la tabla de conteo de granos, tanto los granos libres y mixtos.
- d. # partículas x P.E., se tiene dos casos:
 - ❖ Los granos libres se calculan multiplicando el P.E. (Peso Específico) por el # de granos.
 - ❖ Los granos mixtos se calculan mediante la suma, de los productos del P.E. con su porcentaje y cantidad de granos de cada mineral.
 - ❖ % Areal, se calcula multiplicando el # granos con el P.E. de cada mineral o amare, multiplicado por 100 y dividido con la suma del total # granos por P.E.
 - ❖ El grado de liberación (%), se calcula dividiendo el % Areal y % Volumen en peso, y este multiplicado por 100, de cada mineral.

La Tabla AMGL.xlsx se encuentra guardada en la siguiente ruta:

H:\Lab_Petromineralogía\DOCUMENTACIÓN ISO\TABLAS

Para el correcto llenado del formato de Análisis de Mineralógico de grado de liberación: DL-F-011, se anotará primero el Número de muestra original de la roca, cuadrángulo y la ubicación de la muestra (coordenadas, zona). Todos estos datos se encuentran en el formato DL-F-160.

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 4 de 8

Se coloca el nombre del profesional especialista que realiza el análisis mineralógico y se procede a **realizar** estudio. **La firma del profesional especialista se coloca al término de los estudios cuando estén impresos.**

El muestreo no es responsabilidad del Laboratorio de Petromineralogía salvo requerimientos especiales.

6.3. ANÁLISIS GENERAL DE LA MUESTRA.

- 6.3.1. Descripción de la muestra, comprende un resumen del análisis mineralógico de manera narrativa y contiene los siguientes ítems:
1. Minerales libres, son los principales minerales económicos que se encuentran en la muestra, con su porcentaje areal y grado de liberación.
 2. Los intercrecimientos económicos más importantes, estos ordenados de acuerdo a su importancia económica, acompañados con sus porcentaje areal y grado de liberación.
- 6.3.2. Gráfica de intercrecimientos y asociaciones, son histogramas tipo "pastel" de todo los intercrecimientos y asociaciones de la muestra.

6.4. DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA

Es la descripción microscópica de los principales minerales y comprende:

- 6.4.1. Mineral, se nombra los principales minerales económicos.
- 6.4.2. Ocurrencia, se incluirán en la descripción microscópica de forma narrativa y debe contener los siguientes ítems.
1. Porcentaje en peso del mineral.
 2. Porcentaje de granos libre.
 3. Porcentajes de intercrecimiento.
 4. Grado de liberación.
 5. Observaciones o comentarios.

NOTA: Si se tiene minerales que fueron cuantificados porque representa menos del 5% de una partícula, y el especialista considera que es importante, serán descritas en este punto.

6.5. GRÁFICOS DE RESULTADOS

- 6.5.1. Grado de liberación, es un gráfico de barras que representa de los grados de liberación de los minerales presentes, se realiza en Excel u otro programa similar
- 6.5.2. Porcentaje en peso total, es un gráfico de barras que representa el porcentaje en peso total (tantos de granos libres y mixtas) de los minerales presentes en la muestra.

6.6. ANÁLISIS MINERALÓGICO

Se reporta el cuadro final de hoja de cálculo AMGL.xlsx, la cual debe estar correctamente llenado.

6.7. FOTOMICROGRAFÍAS

Se colocara cuatro fotomicrografías como mínimo, para la su adquisición será a través del software LAS V4.1, provee resoluciones muy altas, para lo cual la resolución estándar para insertarlas en formato de Análisis Mineralógico de Grado de Liberación: DL-F-011 es 800x500 píxeles. Los siguientes ítems se incluirán en la descripción de la fotomicrografía:

- 6.7.1. Se identifican los minerales presentes en la fotomicrografía y se coloca las abreviaturas de acuerdo a la Tabla de abreviaturas del Laboratorio de Petromineralogía. (Ver 3.7)
- NOTA: Los minerales secundarios se colocarán entre paréntesis.
- 6.7.2. Se describe de modo general los minerales presentes en la roca, colocando la abreviatura asignada al finalizar la descripción.

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 5 de 8

6.8. COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

Si se encuentran características no detalladas en la descripción macroscópica y/o microscópica. Asimismo, recomendaciones para el usuario para optimizar sus procesos o requerimiento de estudios adicionales.

7. INSTRUCCIONES

No aplica

8. DURACIÓN

La duración del estudio varía entre 1 a 2 días, esta dependerá de las dificultades que se presenten en el análisis de la muestra.

9. DIAGRAMACIÓN

- 9.1. DL-FP-004: Proceso de Estudios Petromineralógicos
- 9.2. DL-FP-006: Procesos de Estudios realizados por los Laboratorios de INGEMMET

10. REGISTROS

- 10.1. DL-F-160: *Solicitud de Preparación y estudios Petromineralógicos.*
- 10.2. DL-F-011: Análisis Mineralógico de Grado de Liberación.

11. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- 11.1. **Microscópico:** Define la observación de minerales que sólo son visibles a través de un microscopio.
- 11.2. **Microscopio de Polarización:** Es un instrumento utilizado para determinar las propiedades ópticas de los cristales individuales o agregados y descripción de texturas y sus relaciones entre ellos, tal como aparecen en las secciones delgadas o pulidas.
- 11.3. **Análisis Mineralógico:** Es una técnica dedicada a la obtención de datos mineralógicos necesarios para la evaluación y aprovechamiento de los minerales metálicos, mediante su identificación y conocimiento detallado de sus propiedades físicas y químicas, cuya asistencia es de vital importancia en las diferentes etapas de desarrollo de un proyecto minero.
- 11.4. **Sección pulida:** Una sección pulida es una porción de roca mineralizada puesto en una briqueta circular de 40 mm de diámetro aproximadamente, las dimensiones pueden variar de acuerdo al estudio. Las secciones pulidas y delgadas pulidas tienen un lado pulido con suspensiones de diamante (8µm, 3µm, 1µm y ¼µm). Asimismo, se puede realizar secciones pulidas de concentrados, relave, etc.
- 11.5. **Sección delgada:** Una sección delgada es una porción de material montado en un portaobjetos y mecánicamente reducido a un espesor que tiene $0,030 \pm 0,005$ mm, y normalmente protegido con un cubreobjetos. La sección delgada normalmente mide 52mm x 28mm, pero en el caso de rocas de grano más grande, se usarán dimensiones más grandes (ejm. 75mm x 50mm) o pueden ser preparadas varias secciones de dimensiones normales.
- 11.6. **Amarres:** Es el conjunto de relaciones espaciales intergranulares y de características morfológicas (tamaño y forma) de los componentes minerales.
- 11.7. **Grado de liberación:** Es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas minerales "libres"; su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, y dado que es un parámetro de importancia su determinación debe basarse en una metodología técnica y científicamente bien fundamentada.

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 7 de 8

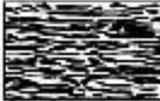
12.1. ANEXO N° 2:

CUADRO DE INTERCRECIMIENTOS

	I	II	III	IV
1a SIMPLE Límites curvos o rectilíneos. Es el tipo más frecuente.				
1b AMEBOIDE Límites curvos y sinuosos. Muy frecuente.				
1c GRÁFICO O MIRMÉQUITICO O EUTÉCTICO Común. Ejemplos: cp-stn, bn-cc				
1d DISEMINADO				
1e INCLUSIÓN				
2a CORONA Común. Ejemplos: ce, cv en py, cp				
2b SUB-CORONA				
2c CONCÉNTRICO				

Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales (Canchaya & Cardozo, 1977).

	INSTRUCTIVO	Código : DL-I-023
	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE GRADO DE LIBERACIÓN	Versión : 01 Fecha aprob. : Página : 8 de 8

	I	II	III	IV
2d COLOFORME				
3a SANDWICH Común. Ejemplos: cp en py, mb en py, cubanita en cp, il en mt				
3b ESTRATIFICADO O LAMELAR Poco común. Ejemplos: po-pot, il-mt				
3c RETICULAR Poco común. Ejemplos: il en mt, bn en cp, cubanita en cp.				
3d VEIEADO				
4a BORDE COMPUERTO				
4b COMPENETRACIÓN				
4c INTERSTICIAL				

(Continuación). Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales (Canchaya & Cardozo, 1977).

ANEXO N°11: Informe de análisis granulométrico en el laboratorio de procesamiento de minerales (Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



INFORME DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Cusco, 26 de enero de 2024

De: Ing. Juan Carlos Gómez Elorrieta

Técnico de Laboratorio de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Para:

Velásquez Serrano Jheyson Raúl

Auccaise Martínez Ruben Dario

Tesistas de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Lugar de procedimiento: Laboratorio MT-101 de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Descripción:

Se realizó el ensayo de análisis granulométrico de siete (07) muestras de mineral, debidamente codificadas el cual se detalla a continuación:

Tiempo: 5 minutos								
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante	
Prueba N°1	1	65	210	12.3	4.92	4.92	95.08	
	2	100	149	28.1	11.24	16.16	83.84	
	3	150	105	40.7	16.28	32.44	67.56	
	4	200	74	72.5	29	61.44	38.56	
	5	-200	-	-	96.4	38.56	100	0
		Total			250	100		

Tiempo: 25 minutos								
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante	
Prueba N°2	1	65	210	4.14	1.656	1.656	98.344	
	2	100	149	12.8	5.12	6.776	93.224	
	3	150	105	29.23	11.692	18.468	81.532	
	4	200	74	65.53	26.212	44.68	55.32	
	5	-200	-	-	138.3	55.32	100	0
		Total			250	100		

Tiempo: 25 minutos								
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante	
Prueba N°3	1	65	210	4.9	1.96	1.96	98.04	
	2	100	149	11.9	4.76	6.72	93.28	
	3	150	105	30.9	12.36	19.08	80.92	
	4	200	74	77	30.8	49.88	50.12	
	5	-200	-	-	125.3	50.12	100	0
		Total			250	100		


 Juan Carlos Gómez Elorrieta
 Ing. METALÚRGICO
 CIP N° 133841



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



Tiempo: 5 minutos							
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
Prueba N°4	1	65	210	17.9	7.16	7.16	92.84
	2	100	149	31.72	12.688	19.848	80.152
	3	150	105	51.53	20.612	40.46	59.54
	4	200	74	60.5	24.2	64.66	35.34
	5	-200	-	88.35	35.34	100	0
		total			250	100	

Tiempo: 15 minutos							
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
Prueba N°5	1	65	210	5.847	2.3388	2.3388	97.66
	2	100	149	14.601	5.8404	8.1792	91.82
	3	150	105	35.168	14.0672	22.2464	77.75
	4	200	74	82.5	33	55.2464	44.75
	5	-200	-	111.884	44.7536	100	0.00
		total			250	100	

Tiempo: 15 minutos							
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
Prueba N°6	1	65	210	5.776	2.3104	2.3104	97.69
	2	100	149	13.79	5.516	7.8264	92.17
	3	150	105	35.872	14.3488	22.1752	77.82
	4	200	74	84.673	33.8692	56.0444	43.96
	5	-200	-	109.889	43.9556	100	0.00
		total			250	100	

Tiempo: 15 minutos							
	Nº	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% de Peso Retenido	% de Peso Acumulado	% de Peso Pasante
Prueba N°7	1	65	210	6.12	2.448	2.448	97.55
	2	100	149	14.37	5.748	8.196	91.80
	3	150	105	36.75	14.7	22.896	77.10
	4	200	74	82.14	32.856	55.752	44.25
	5	-200	-	110.62	44.248	100	0.00
		total			250	100	

Se expide el siguiente documento para los fines que vean pertinente los interesados.


 Juan Carlos Gomez Elorrieta
 Ing. METALÚRGICO
 CIP N° 133841