

Universidad Nacional
"José Faustino Sánchez Carrión"



“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

“APTITUD EN LA MOLIENDA DE MINERALES MIXTO PARA LA
LIBERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL DE LA EMPRESA
MACDESA - 2018”

“TESIS”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALÚRGICO

Autor:

SALAZAR CRUZ, OMAR ANGELO.

Asesor:

Mo. RODRIGUEZ ESPINOZA, Ronald.

C.I.P. N° 95579

Huacho - Perú

2018

“APTITUD EN LA MOLIENDA DE MINERALES MIXTO PARA LA
LIBERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL DE LA EMPRESA
MACDESA - 2018.”

.....
M(o) Guerra Lazo, Eduardo Cayo
Presidente

.....
M(o) Gálvez Torres, Edwin Guillermo
Secretario

.....
M(o). Abarca Rodríguez, Joaquín José
Vocal

.....
M(o) Rodríguez Espinoza, Ronald.
Asesor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber alcanzado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi querida madre, por ser el pilar más significativo y por demostrarme perenemente su cariño y apoyo ilimitado.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por consagrar la vida, por guiarnos por el camino correcto a lo largo de nuestra existencia, ser el soporte y fortaleza en aquellos instantes de dificultad y de debilidad en nuestras vidas.

PENSAMIENTO

“Nuestra mayor gloria no está en no caer nunca, sino en levantarnos cada vez que caemos”

Confucio

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
PENSAMIENTO	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE FIGURA.....	XI
ÍNDICE DE TABLA	XII
ÍNDICE DE ANEXO.....	XIII
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. <i>Problema General</i>	2
1.2.2. <i>Problemas específicos</i>	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3

1.5.	DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	3
1.5.1.	<i>Delimitación territorial.....</i>	3
1.5.2.	<i>Delimitación tiempo y espacio.....</i>	3
1.5.3.	<i>Delimitación de recursos.....</i>	4
1.6.	VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	4
CAPITULO II.....		5
MARCO TEÓRICO.....		5
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1.	<i>Antecedentes Internacionales.....</i>	5
2.1.2.	<i>Antecedentes Nacionales.....</i>	6
2.2.	MOLIENDA.....	9
2.2.1.	<i>Molienda convencional.....</i>	9
2.2.2.	<i>Circuitos alternativos de procesamiento.....</i>	11
2.2.3.	<i>Mecanismo de molienda.....</i>	12
2.2.3.1.	Impacto.....	13
2.2.3.2.	Abrasión.....	13
2.2.3.3.	Compresión.....	13
2.2.4.	<i>Medios de molienda.....</i>	14
2.2.4.1.	Las Barras como medio de molienda.....	14
2.2.4.2.	Bolas como medios de molienda.....	15
2.2.4.3.	Forros o Chaquetas.....	16
2.2.4.4.	Levantadores (Lifter).....	17
2.2.5.	<i>Variables de operativas de los molinos.....</i>	17
2.2.5.1.	Carga de Mineral.....	17
2.2.5.2.	Suministro de agua.....	18

2.2.5.3.	Carga de bolas.....	19
2.2.5.4.	Condiciones de los blindajes.....	19
2.2.5.5.	Tiempo de molienda.	20
2.2.6.	<i>Factores que Influyen en la Capacidad de Molienda</i>	20
2.2.6.1.	Grado de llenado.....	20
2.2.6.2.	Velocidad de rotación	22
2.2.7.	<i>Caracterización de la partícula</i>	23
2.2.7.1.	Tamaño de la Partícula.....	23
2.2.7.2.	Liberación de la Partícula	24
2.2.7.3.	Distribución de Granulometría.	25
2.2.7.4.	Grado de Liberación.	25
2.2.7.5.	Caracterización por Tamizado.	26
2.2.8.	<i>Análisis matemático de la distribución de partículas</i>	27
2.2.8.1.	Función de distribución de Gaudin-Schuhmann.....	27
2.2.8.2.	Función de distribución de Rosin–Rammner.....	28
2.2.8.3.	Función de distribución de Log–Normal.	29
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	30
2.4.	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	32
2.4.1.	<i>Hipótesis General</i>	32
2.4.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	32
CAPITULO III.....		33
METODOLOGÍA.....		33
3.1.	DISEÑO METODOLÓGICO	33
3.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	33
3.1.2.	<i>Enfoque de la investigación</i>	33

3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	33
3.2.1.	<i>Población.....</i>	33
3.2.2.	<i>Muestra.....</i>	34
3.2.3.	<i>Tamaño de muestra.....</i>	34
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.....	35
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	36
3.4.1.	<i>Técnicas a Emplear.....</i>	36
3.4.2.	<i>Descripción de los Instrumentos.....</i>	36
3.5.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	36
CAPITULO IV.....		37
CONDICIONES Y RESULTADOS DE LA PARTE EXPERIMENTAL.....		37
4.1.	CONDICIONES PARA EL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	37
4.2.	RESULTADOS.....	38
4.2.1.	<i>Velocidad de operación y su liberación.....</i>	38
4.2.2.	<i>Porcentaje de carga y liberación de mineral.....</i>	40
4.2.3.	<i>Tiempo liberación de carga de mineral.....</i>	42
CAPITULO V.....		45
DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		45
5.1.	DISCUSIONES.....	45
5.2.	CONCLUSIONES.....	46
5.3.	RECOMENDACIONES.....	47
CAPITULO V.....		48
FUENTES DE INFORMACIÓN.....		48

5.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.....48

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Representación esquemática de un circuito de molienda abierto (A= entrada de alimentación; P= Salida del producto).....	11
Figura 2. Representación esquemática de un circuito de molienda cerrado directo. (A=entrada de alimentación; C=clasificador; P=Salida del producto).	11
Figura 3. Representación esquemática de un circuito de molienda cerrado inverso (A=entrada de alimentación; C=clasificador; P=Salida del producto).	12
Figura 4. Ilustración de los mecanismos que suceden dentro de un molino convencional.....	13
Figura 5. Se observa que incrementando la velocidad de giro del molino de (a=10 rpm) a (b=10.8 rpm), mejora el movimiento de la carga interna del molino.	23
Figura 6. Especies mineralizadas liberadas de la roca que lo contiene.	25
Figura 7. Comparación del grado de liberación de un mineral aurífero.	26
Figura 8. Ilustración del P80 mediante malla U.S. Standar Sieve 100.	27

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Acero equivalente.....	16
Tabla 2. Operacionalización de Variables en estudio.....	35
Tabla 3 Equipos y accesorios.....	37
Tabla 4 Resultado del %-200m en ala velocidad de operación	38
Tabla 5 Análisis de Varianza%-200m vs % Vc.....	39
Tabla 6 Resumen del modelo %-200m vs % Vc	39
Tabla 7 Coeficientes %-200m vs % Vc	39
Tabla 8 Resultado de porcentaje de carga moledora y la liberación.....	40
Tabla 9 Análisis de Varianza %-200m vs. %Cw	41
Tabla 10 Resumen del modelo %-200m vs %Cw	41
Tabla 11 Coeficientes de %-200m vs %Cw	42
Tabla 12 Liberación pasante a malla 200 en el tiempo.....	43
Tabla 13 Análisis de Varianza %-200m vs. Tiempo	43
Tabla 14 Resumen del modelo %-200m vs. Tiempo.....	44
Tabla 15 Coeficientes%-200m vs. Tiempo.....	44

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Matriz Consistencia General.....	51
Anexo 2: Matriz Consistencia Específico.....	52
Anexo 3: Instrumento para la toma de datos.	53
Anexo 4: Instrumento para la toma de datos.	53
Anexo 5: Instrumento para la toma de datos.	54
Anexo 6. Variables que cambian el movimiento de carga.....	54
Anexo 7: Provincia de Caravelí - Arequipa.....	55
Anexo 8: Centro Poblado Cuatro Horas - Chaparra.	55
Anexo 9: Tiempo de molienda 4 minutos.....	56
Anexo 10: Tiempo de molienda 8 minutos.....	56
Anexo 11: Tiempo de molienda 12 minutos.....	57
Anexo 12: Tiempo de molienda 16 minutos.....	57
Anexo 13: moliendabilidad.....	58
Anexo 14: Curva de moliendabilidad.....	58

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

%	: Porcentaje
&	: y
µm	: Micras
P80	: Ochenta por ciento pasante a una determinada malla
g/t	: Gramos por toneladas métricas
%Cw	: Porcentaje de carga moledora
-m200	: Pasante a malla 200
min	: Minutos
p.	: Pagina
pp.	: Paginas
S.A	: Sociedad anónima
s/f	: Sin fecha
Wi	: Índice de trabajo
Hp	: Caballo de fuerza
-m200	: Pasante a malla 200
”	: Pulgadas
Lbs	: Libras
%Vc	: Porcentaje de velocidad critica
rpm	: Revoluciones por minutos

RESUMEN

En el presente, estudio sobre aptitud en la molienda de minerales mixto para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa MACDESA – 2018, tiene el propósito evaluar la carga moledora, velocidad crítica y el tiempo para la liberación del mineral. Se realizó en el laboratorio de la empresa MACDESA ubicado en el departamento de Arequipa, en la provincia de Caraveli, distrito de Chala, es una investigación cuantitativa experimental, predictivo generador de resultados. El mineral tratado son de los acopios lo que se liberó y paso a malla 10 pasante al 100%. Los resultados obtenidos, para el porcentaje de la velocidad critica el mejor resultado es cuando 90% de su velocidad critica, y el 85,64% pasante a malla 200, para la velocidad critica en el análisis de varianza de p de 0.010 menor a α 0,05y 5,76 y una significancia de 5,76. Para la carga moledora el mejor resultado es cuando 31.30% Cw, teniendo 79,54% pasante a malla 200 para la carga moledora, en el análisis de varianza p es 0.001 menor a α 0,05 y una significancia de 12,85, y para el tiempo de molienda, el mejor resultado en 16 minutos es de 84,12% pasante a malla 200, en el análisis de varianza p es 0,001 menor a α 0,05 y una significancia de 11,60.

Palabra clave: Liberación de minerales en molienda, molienda de minerales auríferos, moliendabilidad de minerales, evaluación de molienda.

ABSTRACT

At present, a study on aptitude in the grinding of mixed minerals for the release of gold at the experimental level of the company MACDESA - 2018, has the purpose of evaluating the grinding load, critical speed and time for the release of the mineral. It was carried out in the laboratory of the MACDESA company located in the Department of Arequipa, in the Province of Caraveli, Chala District, is an experimental quantitative research, predictive generator of results. The treated ore is from the preparations, which was released and passed to 100% through 10 mesh. The results obtained, for the percentage of the critical velocity, the best result is when 90% of its critical velocity, and the percentage is 85,64% through mesh 200, for the critical velocity in the analysis of variance of p of 0,010 less than α 0,05 and 5,76 and a significance of 5,76. For the grinding load the best result is when 31,30% Cw, having 79,54% through to 200 mesh for the grinding load, in the analysis of variance p is 0,001 less than α 0.05 and a significance of 12,85, and for the grinding time, the best result in 16 minutes is 84,12% through 200 mesh, in the analysis of variance p is 0,001 less than α 0,05 and a significance of 11,60.

Key words: Mineral release in milling, gold ore milling, mineral milling, milling evaluation.

INTRODUCCIÓN

En el trabajo sobre, aptitud en la molienda de minerales mixto para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa MACDESA – 2018, su finalidad es ver como intervienen la carga moledora, velocidad de operación y el tiempo de molienda, se sabe que en el mundo en el proceso de la recuperación de minerales valiosos de interés, uno de los retos es la búsqueda de condiciones más favorables es la liberación para minimizar los costos de operación, para ello se siguen desarrollando equipos para superar y por ende minimizar los costos de operación.

El Perú no es ajeno a ello por ser netamente un país minero y extractor de material prima por ello las empresas al ver que las reservas de alto valor económico se van agotando y al existir reservas de baja ley complejas por su mineralogía buscan parámetros operacionales en el circuito de molienda que cumplan condiciones que sean rentables en el proceso de extracción de metales y concentración de menas.

Se agrade a los representantes de la empresa MACDESA, por darme las facilidades y permitirme realizar este trabajo y a los maestros de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, que de uno otra manera contribuyó para la realización del presente trabajo.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

La Empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. se dedica a la recuperación de Au y Ag desde los minerales que contengan valores de interés, el de mayor componente está representado por el sílice, dentro del aspecto operativo la planta de procesos tiene dificultades en el circuito de molienda por lo tanto es conveniente instaurar las condiciones de funcionamiento apropiadas, estos están relacionados con la liberación. Siendo la molienda un punto de gran importancia para una apropiada liberación de minerales de oro, por lo que debe tener un funcionamiento eficiente para cumplir con el objetivo. Se sabe que, para la fragmentación del mineral en los molinos, se consumen grandes cantidades de energía, de los cuales solo el 4 %, es trabajo útil.

Los parámetros para la liberación de minerales deben ser determinados por su capacidad y gasto de energía en la pulverización de los minerales, por ello se debe realizar una evaluación experimental para desarrollar medidas de control con el fin de mejorar los resultados requeridos en el proceso de lixiviación.

La fragmentación de partículas suficientemente pequeños mejora la calidad de recuperación por lo tanto es indispensable su control, esto está en función del tiempo de molienda, distribución de la carga moledora, flujo del agua, velocidad de operación.

El gasto total de energía de la molienda de un mineral, varía considerablemente con la granulometría del producto deseado y depende de los factores del tamaño y la dureza del mineral. El consumo no puede ser mayor a la capacidad del motor instalado en el molino.

El objetivo de la reducción de dimensión no reside solamente en obtener fragmentos pequeños a partir de grandes rocas, es la obtención de productos que posea tamaño dentro de los parámetros preestablecidos, con la finalidad de obtener una buena liberación de la parte valiosa.

Por lo explicado anteriormente se traza el siguiente problema puntualizado en la enunciación del problema, el mismo que será considerado con el fin de determinar de la aptitud en la molienda de minerales mixto.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema General.

¿Será posible la relaciona entre la aptitud en molienda de los minerales mixto, para la liberación de oro a nivel experimental de la Empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. 2018?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Será posible con un control adecuado de la velocidad de operación en la molienda, nos permita obtener una liberación eficiente del mineral a nivel experimental?
- ¿En qué medida una carga moledora adecuada al molino, nos permitirá obtener la liberación optima de las especies mineralizadas?
- ¿Cómo el control de tiempo de molienda, se relaciona con el tamaño de liberación del mineral?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1. Objetivo General.

Evaluar la aptitud de la molienda de minerales mixto, para la liberación de oro a nivel experimental en la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A – 2018.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Controlar la velocidad de operación en la molienda, para obtener una liberación eficiente del mineral.
- Valorar en qué medida una carga moledora adecuada al molino, nos permitirá obtener la liberación optima de las especies mineralizadas.
- Medir cómo el tiempo de molienda, se relaciona con la liberación del mineral.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

En la tesis realizado, el objetivo es encontrar la aptitud de la molienda de minerales mixto, para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A – 2018., con la revisión de las variables que actúan en la liberación de especies mineralizadas.

Los motivos para desarrollar el presente trabajo experimental está orientado a evaluar y determinar los elementos operacionales para un proceso de molienda optimo, puesto que el sector minero en el área de procesamiento de minerales tiene un gran consumo energético y problemas operacionales por la complejidad mineralógica de mineral a procesar que dificultan la liberación de las especies mineralizadas para su posterior extracción, por lo tanto, se debe tener parámetros de control óptimos en las operaciones para moler lo justo y obtener una liberación del mineral óptimo.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.

1.5.1. Delimitación territorial.

País	:	Perú
Departamento	:	Arequipa
Provincia	:	Caraveli
Distrito	:	Chala

1.5.2. Delimitación tiempo y espacio.

Respecto al lugar donde se realizó la tesis, es el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, correspondiente a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, en el año 2018 - 2019.

1.5.3. Delimitación de recursos.

Cuando nos refiere a la parte de recursos, la parte económica es limitante para realizar un trabajo más detallada respecto a la investigación. Por lo que ha sido asumido por la empresa MACDESA, para realizar la investigación, durante el periodo que duro el trabajo.

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO.

Respecto su viabilidad de la investigación es factible, ya que se tiene acceso a la fuente teóricos, y por otra parte a los métodos y técnicos, en lo financiero se tiene el apoyo de los recursos económicos por parte de la empresa lo necesarios. Por otra parte, se tiene el aval de los representantes con la autorización de la empresa MACDESA y del director del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, para realizar la tesis en la parte experimental.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Los trabajos relacionados con la investigación en curso, referido al contexto internacional se puede describir a continuación.

Wasmuth (1970), en su investigación sobre “*Determinación de la aptitud a la molienda y del consumo específico de energía según el ensayo de Bond para la molienda de minerales y rocas*” concluye que,

El empleo del valor medio que resulta del índice de trabajo para diferentes finuras de molienda, para el cálculo del consumo energético real necesario para la trituración con un determinado tamaño de grano de partida y finuras finales discretas, es, por lo tanto, sólo admisible para estimaciones muy aproximadas. En general, se recomienda realizar el ensayo de Bond para diversas finuras de molienda, ya que así se consigue una visión más clara de la magnitud de los valores del consumo energético en función del tamaño del producto molido (pp.28-30).

Vargas (2010) en su investigación sobre “*Evaluación de un circuito de molienda y clasificación*” llegó a la siguiente conclusión que,

Para la evaluación de un circuito de molienda y clasificación, por lo general se debe mantener algunas variables de operación estandarizadas como las densidades de pulpa estables. Para ello se debe tener una alimentación de mineral constante como características físicas y químicas similares, la cantidad de agua adecuada según el requerimiento del circuito, los equipos en buen

estado. Pero las características del mineral que es alimentado al circuito de molienda no siempre son constantes como la segregación que sufre en la tolva de finos por lo cual hace que los demás parámetros varíen. (pp.75-77).

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Los trabajos relacionados con la investigación en curso, referido al contexto nacional se puede describir a continuación.

Castillo (2014) en su tesis sobre “*Optimización de parámetros que influyen en la sección de molienda-clasificación y flotación Zn*” concluye que,

Se observa que los resultados con un nivel de bolas de 34% con una potencia de 1066 Hp, se puede llegar a 36% ya que la potencia máxima del motor es de 1650 Hp, esto nos permitirá elevar la capacidad de tratamiento. Se determinó que el tamaño de alimentación de 65%-70% a malla - $\frac{1}{4}$ ”, es una granulometría fina para alimentar al circuito Molienda/Clasificación. Se observo que al optimizar los parámetros mencionados nos permitirá aumentar el grado de liberación de tal manera que de 48% -m200 se pueda llegar a 55%-m200 y mejorar la calidad y recuperación. (pp.85-86).

Echavaudis & Perez (2017) en su tesis sobre “*Determinación del tamaño de partícula óptima en molienda para la concentración por flotación de sulfuro de plomo a partir de un mineral polimetálico*” concluye que,

Se puedo observar que los resultados de las pruebas experimentales de análisis granulométrico señalan que existe un tamaño óptimo de partícula de mineral de sulfuro de plomo que se libera en mayor proporción en tiempos de molienda comprendidos entre 4 y 16 minutos, cuyo valor se da en la malla -100 . Durante

el paso del tiempo de 7, 10, 13 y 16 este valor va en aumento. Como se observa en los resultados obtenidos, se determinó que la granulometría más adecuada para la recuperación óptima de plomo del mineral polimetálico es de 67,60% de mineral acumulado pasante Ac tal como se ve en la figura 27, donde la malla de referencia es de -100. y el tiempo adecuado de molienda es de 16 minutos, cuyos datos deben tenerse en cuenta al momento de diseñar los equipos industriales de producción continua del plomo a partir de la galena. (p.67)

Zumaran (2017) en la *“Evaluación de la influencia de las variables en la distribución granulométrica del producto de molienda por bolas de minerales mediante diseños experimentales”* concluye que se,

Se puede observar que el aumento del tiempo de molienda y la disminución del índice de trabajo de Bond del mineral incremento el % pasante malla 16 y % pasante a malla 200. Se puede observar que el aumento de la proporción de bolas pequeñas en la distribución del tamaño de bola incrementó el % pasante malla 200. Se puede observar que el aumento del tiempo de molienda y de la proporción de bolas grandes en la distribución de tamaño de bola incremento la razón de reducción de tamaño. Se aprecia que los minerales con índice de trabajo de Bond más altos y las partículas más gruesas requieren alto impacto y bolas grandes. (p.116).

Bernedo (2015) en su trabajo sobre *“Estudio de la influencia de la velocidad crítica y nivel de llenado, en la molienda de un mineral cuprífero a través de simulación de procesos”* concluye que,

Se aprecia que el incremento del nivel de llenado del molino por bolas

incrementa el P80, que es lo opuesto comparándolo con la variación del porcentaje de la velocidad crítica, y a medida que aumenta el nivel de llenado del molino por bolas aumenta en mayor proporción la potencia del molino, se concluye que este afecta más en la potencia del molino comparándola con las otras variables de operación estudiadas. La variación del parámetro de operación que afecto en mayor medida al P80 fue el nivel de llenado de pulpa en los intersticios, y este a su vez presenta la menor variación en potencia del molino. (p.56).

2.2. MOLIENDA.

Es la segunda fase de la conminución y el paso más importante en la preparación mecánica de minerales. En esta fase debe tratarse de liberar completamente la parte valiosa del mineral antes que ingresen a la concentración las menas de interés.

En esta etapa, Egas (1985) “la molienda se origina normalmente en cilindros rotativos, los mismo que pueden utilizar medios de molienda; el propio mineral (molienda autógena), medio no metálico, natural o fabricado y medios metálicos barras o billas de acero”. (p. 30)

La molienda es la reducción del trozo de mineral para obtener un producto con granulometría intermedia (P80 entre 1.0mm y 75 μ m) o un producto más fino (P80 < 75 μ m). aplicando fuerzas de presión, impacto y abrasión. En otras palabras, la tarea de molienda es el proceso de reducción que ocurre dentro del molino para llegar de un F80 al P80.

2.2.1. Molienda convencional.

En un proceso convencional sobre la molienda de los minerales se podría tener en consideración ciertos criterios entre ellos se tiene.

En Portal Minero, (2006), el factor principal para el uso de los métodos convencionales de chancado-molienda (chancadores primarios, secundarios, terciarios, cuaternarios, molinos de barras, molinos de bolas) reside en el menor gasto de energía respecto a las operaciones no convencionales (molienda autógena, molienda semiautógena). Esto debido a que las operaciones de trituración resultan de mayor eficiencia en aplicación de energía en relación a su aplicación en molienda, que posee componentes que generan pérdidas de energía por acción de los medios moledores y los revestimientos. (p. 126).

a. Molino de bolas.

En el circuito de molienda por medio de bolas tiene sus propias condiciones de trabajo,

como condiciones de operaciones tanto desde el punto de vista de diseño, operación por lo que se puede describir.

En Portal Minero (2006), describen que, los molinos de bolas sus paredes están forradas con corazas hechas en aleaciones de acero cromo-manganeso, cuyo volumen interno está ocupado en un 30% - 42% de su capacidad por un collar de billas de acero desde 1,0 hasta 4,0 pulgadas de diámetro, las cuales son los elementos moledores. Los molinos de bolas están diseñados para triturar el mineral de hasta $\frac{1}{4}$ pulgada y llevarlo a un tamaño de partícula entre 20 a 75 micrones. Para conseguir una eficiencia optima los molinos de bolas deben trabajar en circuito cerrado con recirculación del sobre tamaño obtenido. (p. 127)

b. Molino de Barras.

Tal como los molinos de bola también tienes sus particularidades como de diseño como de operación que esto lo hace diferente a cada uno por lo que es necesario su descripción.

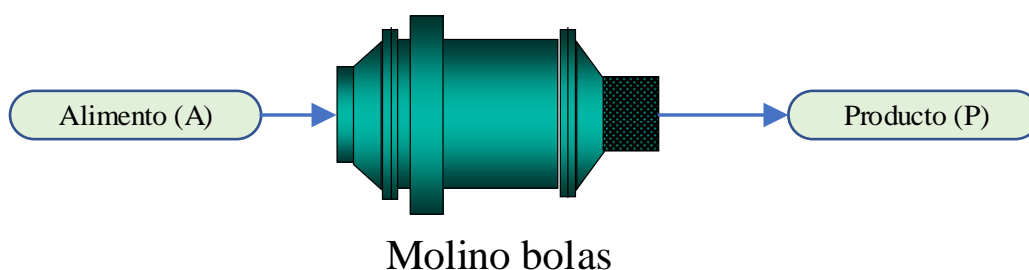
En Portal Minero (2006), describe que los molinos de barras son cilindros que contienen en su interior barras de acero normalmente de 3.5 pulgadas de diámetro, que son los elementos de molienda. Las barras trituran el mineral que ingresa al molino en forma similar a como las bolas trituran el mineral en un molino de bolas. Para impedir que las barras se enreden con la carga, la razón de la longitud/diámetro se conserva entre 1.4 a 1.6. Los molinos de barras admiten la alimentación de mineral con un tamaño hasta cerca de 50 milímetros o 2 pulgadas y entregan un producto en el rango de tamaño de 3300 a 300 micrones (-6 M a -48 M). La operación de molienda se produce por el choque longitudinal barra con barra al girar y golpear entre sí con el giro del molino. (p. 126)

2.2.2. Circuitos alternativos de procesamiento.

En el circuito de liberación se tiene una serie de clasificaciones, por lo que Sepulveda, & Gutierrez (1986) “en la práctica, existe diversas de combinaciones posibles a efectuar entre las diferentes etapas de conminución/clasificación y flotación. Adaptables a un proceso general de beneficio de minerales”. (p. 18)

a. Circuito abierto.

Figura 1. Circuito de molienda abierta.

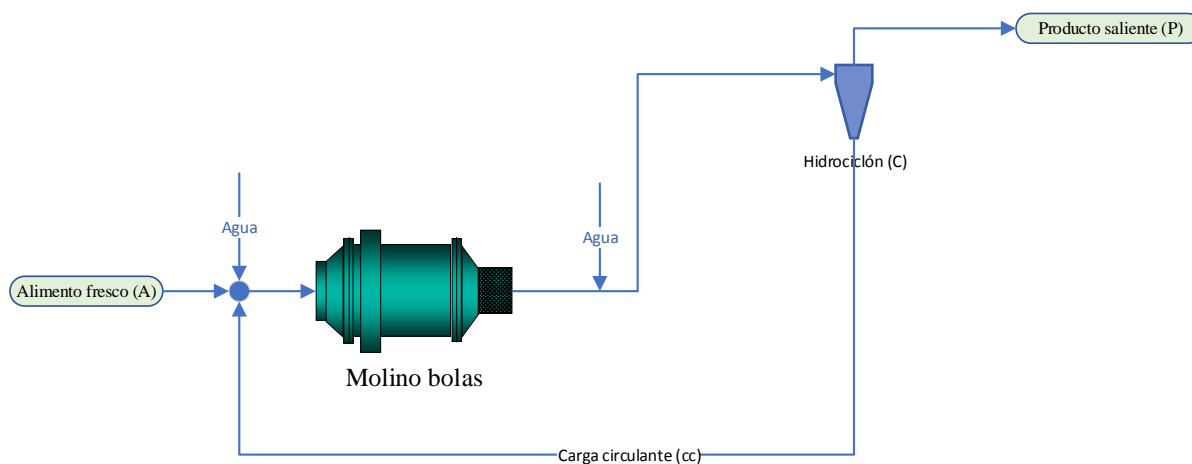


Nota: Fuente Sepulveda & Gutierrez (1986) adaptado de dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática, (p. 19).

b. Circuito cerrado directo.

El circuito cerrado directo está constituido de (A=entrada de alimentación; C=clasificador; P=Salida del producto).

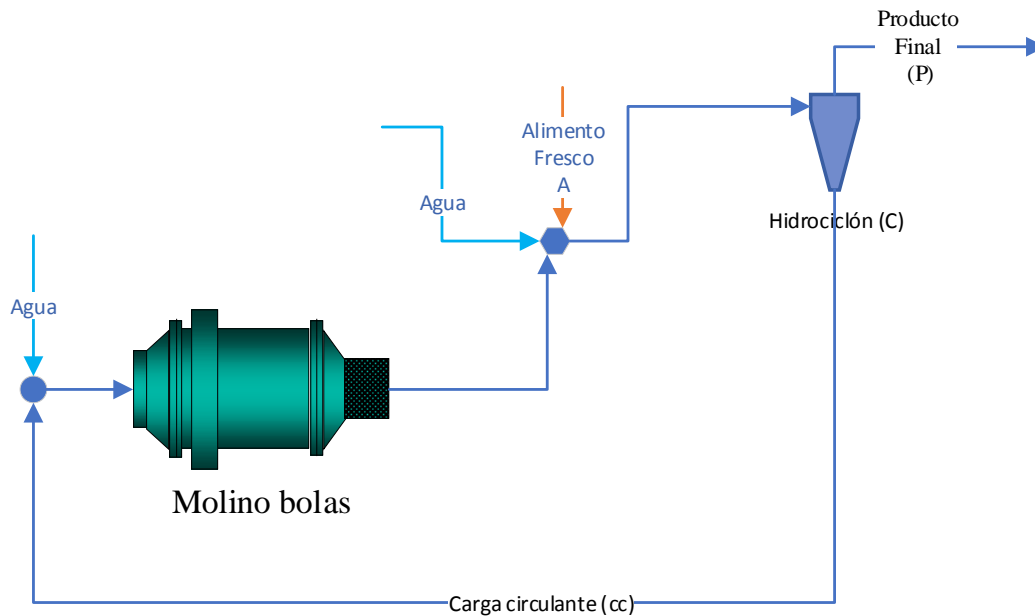
Figura 2. Representación esquemática de un circuito de molienda cerrado directo.



Nota: Fuente Sepulveda & Gutierrez (1986) Adaptado de dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática (p. 19).

c. Circuito cerrado inverso.

Figura 3. Circuito de molienda cerrado inverso (A entrada de alimentación; C clasificador; P Salida del producto).



Nota: Fuente Sepulveda & Gutierrez (1986) Adaptado de Dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática, (p. 19).

2.2.3. Mecanismo de molienda.

La molienda se genera mediante el giro de los molinos, que gira sobre las chumaceras colocado fijamente.

En Cáceres (2007) la revolución del molino entorno a de su eje horizontal es lo que permite a éste, transmitir la energía necesaria para poner en movimiento las partículas. La transmisión que se lleva a cabo mediante la interacción entre la estabilidad interna de la carga y de la fricción carga-cilindro. La fricción determina la cantidad de energía que puede ser transmitida a la carga. Se definen los siguientes tipos de movimientos de la carga cuando la velocidad aumenta, suponiendo que no hay deslizamiento cilindro - carga. (p. 30)

2.2.3.1. Impacto.

Es el coque que se produce entre el mineral y el medio moledora, para Caseres (s/f), es “la energía aplicada esta sobre excedida de aquella necesaria para fracturar la partícula. El resultado es un gran número de partículas con un amplio rango de tamaños”. (p. 29).

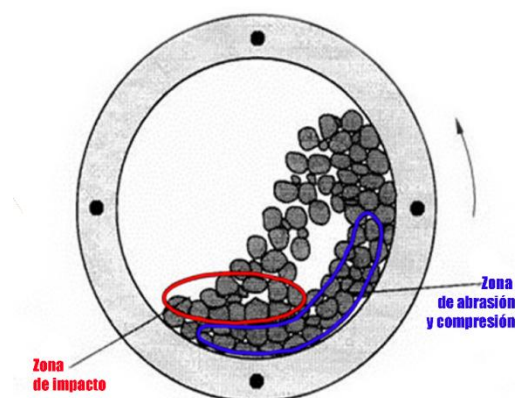
2.2.3.2. Abrasión.

Es el rose de los componentes en este caso el mineral con la carga moledora, por lo que define Caseres (s/f), “ocurre cuando la energía aplicada es insuficiente para producir fractura significativa en la partícula. ocurren tensiones localizadas resultando fracturas en áreas superficiales pequeñas, dando una distribución de partículas de tamaño casi igual al original y partículas muy finas”. (p. 28).

2.2.3.3. Compresión.

Caseres (s/f) define que “ocurre cuando la energía aplicada es suficiente de forma que pocas regiones se fracturan, produciéndose pocas partículas cuyos tamaños son relativamente iguales al original”. (p. 29).

Figura 4. Mecanismos de fractura miento dentro de un molino convencional.



Nota: Fuente (Guzmán, 2016) adaptado de principios y operación de molienda semiautogena – Molycop. (p.144).

2.2.4. Medios de molienda.

Los medios moledores son los encargados de fragmentar los minerales por medio de impacto, abrasión o fricción por lo que se podría describir.

Bravo (2003) define que, el molino cilíndrico emplea la masa de barras o bolas, cayendo en forma de cascada, para suministrar la enorme área superficial que se requiere para producir capacidad de molienda. Estos cuerpos están movimiento y libres, los cuales son relativamente grandes y pesados comparados con las partículas minerales son recogidos y elevados hasta un ángulo tal, que la gravedad vence las fuerzas centrífugas y de fricción. La carga luego efectúa cataratas y cascadas hacia abajo y hacia el exterior rompiendo de esta manera las partículas minerales, mediante impactos repetidos y continuados, así como por frotamiento. Los medios de molienda que están en contacto con el cilindro y aquellos que se hallan varias capas dentro, se mueven a una velocidad proporcional y en la misma dirección que el molino. Lo sobresaliente de los forros, llamados lifters sirven para elevar la carga de medios de molienda dándole su movimiento relativo al casco del molino. (p. 7)

2.2.4.1.Las Barras como medio de molienda.

En las actividades de molienda de minerales en molinos de barra se emplean barras de aceros para la reducción de los minerales para ello se puede fundamentar.

Cárcamo. (2003). Describe que, son cilindros de acero al manganeso, con alto contenido de carbono. Estos se usan en la molienda gruesa; ocupando un volumen de 35% a 45% del volumen del molino. Los consumos de acero en las barras son del orden de 0,2 libras por toneladas en minerales blandos hasta 2 libras por toneladas en mineral duros. (p. 118)

2.2.4.2. Bolas como medios de molienda.

En los casos de usar como medio molidoras bolas, se usan para molienda gruesa y fino, también se podría determinar.

Cárcamo (2003). Describe que, las bolas empleadas en la molienda se construyen de acero al cromo, o al níquel o al molibdeno. Los tamaños varían desde 5" hasta 1/2". En la primera etapa de molienda se emplean tamaño desde 5" - 2". En molienda secundaria estas varían en tamaño desde 3" - 3/4" y para molienda más fina hasta 1/2". La carga de bola puede usarse de un solo tamaño o mantener una carga balanceada de varios tamaños. (p. 119)

a. Bolas de acero Fundido.

Las bolas se fabrican pasando el material aun estado líquido y luego solidifican en un molde, su elaboración se hace con gran facilidad por lo que es económica, pero tienen un menor peso respecto a las bolas de hierro forjado.

b. Bolas de acero Forjado.

Las bolas luego de su solidificación se mantienen en caliente y se aplica alta presión. Son de mayor peso siendo muy favorable para fracturar el mineral. Bravo (2003).

Tabla 1: *Acero equivalente.*

Artículo	Libras equivalentes de bolas fundidas de hierro de 3”
Bola de fundición de hierro de 3 pulgadas	1.0
Bolas de fundición aleación de 3 pulgadas	1.1
Bolas de acero forjado de 3 pulgadas	2.1
Barras de 3 pulgadas	1.7
Camisas de rodillo	4.8
Forros de fundición blanca	1.7
Forros de acero al manganeso	2.4

Nota: Fuente Taggart (1966) Elementos de preparación de minerales, (p. 463).

Basado en bolas de fundición de 3 pulgadas. Deberemos señalar que cada uno de estos valores corresponde a un intervalo que depende tanto de la abrasividad de la mena como de la composición del acero y método de fabricación de este.

2.2.4.3. Forros o Chaquetas.

Es el mecanismo que, “sirven de protección del casco de molino, resiste al impacto de las bolas, así como de la misma carga, los pernos que los sostiene son de acero de alta resistencia a la tracción”. Turpo (2018)

a. Cubierta(forros) de acero.

- Se tiene no ondulados y ondulados.

b. Cubierta(forros) de caucho.

- Se tiene ondulados.

2.2.4.4. Levantadores (Lifter).

Es el mecanismo que se encargan de levantar la carga “para promover la operación de molienda al levantar las rocas y bolas con el fin de que caigan de cierta altura y se genere así una mejor reducción por impacto y por desgaste”. Barrios (2015)

Los levantadores tienen un ángulo de ataque lo cual se mide entre la base de la pieza y la cara frontal, teniendo un efecto sobre el consumo de potencia, los ángulos pueden ser 30°; 45°; 60°; 90°; 120°; 135° entre otros. También existe una relación de consumo de potencia y capacidad del molino con la altura y su separación. Barrios (2015)

2.2.5. Variables de operativas de los molinos.

2.2.5.1. Carga de Mineral.

Dentro de las variables de la liberación del mineral, es necesario tener en consideración la alimentación del mineral, para Bravo (2003) “es necesario controlar en forma cuidadosa y continua el tonelaje de la molienda; es decir, controlar a menudo la lectura de la balanza a fin de que no exista ningún desperfecto; esto traería como consecuencia la variación del tonelaje”. Bravo (p.10)

- a. **Cantidad y Peso constante:** Bravo (2003), considera que se debe controlar continuamente procurando que la carga sea lo máximo posible y uniforme. Si se alimenta poca carga se pierde capacidad de molienda y se gasta inútilmente bolas y chaquetas. Si se alimenta demasiada carga se sobrecarga el molino y al descargarlo se pierde tiempo y capacidad de molienda (tonelaje). (p.10)
- b. **Debe tener un tamaño apropiado:** Bravo (2003), considera que, debe ser tan uniforme en calidad como sea posible; esto es, del tamaño ideal para

maximizar el tonelaje. Una tolva de finos de diseño apropiado es de gran ayuda e importancia para reducir las variaciones en el tamaño de alimentación al molino. Esta tolva bien diseñada reduce la segregación de partículas finas y gruesas y siempre ayuda a fluir el mineral de las tolvas.
(p. 10)

2.2.5.2. Suministro de agua.

El uso del agua como medio de dilución es primordial, para una adecuada liberación de los minerales.

Bravo (2003), considera que, la alimentación de agua a los molinos se controla mediante la densidad de pulpa en la descarga del mismo. Cuando el mineral y el agua ingresan al molino, en su interior, forman un barro liviano que tiene tendencia de pegarse a las bolas, por otro lado, el agua ayuda a avanzar a la carga en el interior del molino, para su posterior salida. (p.11).

- a. **Cuando la cantidad de agua suministrada es excesiva:** Bravo (2003) considera que, lava la superficie de las bolas haciendo que estas se golpeen entre sí y no muelen al mineral, ya que la molienda se produce cuando el barro adherido a su superficie es atrapado entre las bolas. El exceso de agua disminuye el tiempo de permanencia del mineral en el interior del molino, haciendo que la carga salga rápidamente y con granulometría gruesa. (p.11).
- b. **Cuando la cantidad de agua es deficiente:** Bravo (2003) considera que, La carga avanza lentamente y el barro se vuelve muy espeso, amortigua el golpe entre las bolas y no produce buena molienda, la forma de solucionar este problema, es agregando agua a la entrada del molino y controlando la densidad hasta que se regularice; porque si no se hace esto daría lugar a una

sobrecarga y una carga circulante anormal. (p. 11)

2.2.5.3.Carga de bolas.

La carga moledora permite una adecuada liberación de los minerales, para ello se debe tener en consideración.

Bravo (2003) define que, es necesario que el molino siempre tenga su carga normal de medios moledores. El consumo de bolas se debe a la dureza del mineral, índice de abrasión, tamaño del mineral alimentado y la finura que se desea obtener en la molienda. Diariamente se debe reponer el peso de acero consumido del día anterior. Cuando el molino tiene exceso de bolas se disminuye la capacidad del molino, ya que estas ocupan el espacio para la carga. Cuando la carga de bolas está por debajo de lo normal, se pierde capacidad moledora porque habrá dificultad para llevar el mineral a la granulometría deseada. (p.11).

2.2.5.4.Condiciones de los blindajes.

En la molienda el blindaje o chaquetas es esencial para una buena liberación de los minerales y la formar una adecuada para subir los medios moledores,

Romero, Flores, & Arévalo (2009), define que, es conveniente revisar habitualmente la condición en que se hallan los foros y levantadores, si están muy usados ya no podrán subir las bolas a la altura suficiente para que puedan fragmentar al mineral grueso. El llenado de bolas y la condición de los forros se puede controlar mediante la observación o por la baja de la capacidad de molienda y por observación del producto pasante de los análisis de malla de la molienda. (pp. 21-26)

2.2.5.5. Tiempo de molienda.

En la molienda se debe de tener en cuenta una serie de factores que intervienen en la liberación del mineral una de ellos es el tiempo, por ello,

Romero, Flores, & Arévalo (2009) define que, el tiempo de molienda lo determina el grado de liberación y el consumo energético para reducir las partículas. El grado de liberación tiene relación directa con el consumo energético y el tiempo que permanece la mena en el interior del molino. El tiempo de molienda tiene relación con el flujo de agua que ingresa por la alimentación del molino. La variable de operación principal para lograr la finura en la molienda es el número de ciclos que la mena para poder ser reducido a una determinada malla. (pp. 21-26)

2.2.6. Factores que Influyen en la Capacidad de Molienda

2.2.6.1. Grado de llenado.

Respecto al llenado del mineral para Cáceres (2007) considera que, “existen estudios sistemáticos de la influencia del volumen de la carga dentro del molino. Según dichos estudios se concluye que para cada velocidad crítica existe un grado de llenado que proporciona la máxima transmisión de energía al molino”. (p.40).

Por otra parte, que el rango a considerar para Cáceres (2007) debe ser, el siguiente rango de velocidad, utilizado en los molinos industriales: Molino de bolas: 65 - 85 % (mediana 75 %), Molino de barras: 60 - 80 % (mediana 70 %) El máximo teórico de energía empleada en un molino cilíndrico (rotatorio), a una velocidad constante, se obtiene cuando el volumen de carga de molienda (grado de llenado) es el 50 % del volumen del molino, lo que es inalcanzable

por el diámetro del trunion donde entra/sale la pulpa de alimentación en un molino tipo overflow o diafragma. El volumen adecuado es ordinariamente inferior al 45%, por condiciones de diseño, usándose para molinos de barras entre 30 a 38% y para molinos de bolas entre 38 a 43% del volumen interno lleno con bolas y carga mineral a la forma de pulpas tanto para evitar la descarga del medio de molienda por el trunion de descarga, como para compensar la esponjosidad de la carga causado por la presencia de material que se está moliendo. Cuando se requiere un molino de reducida capacidad, el volumen es aún más reducido. (p.40).

Respecto a la carga moledora en su calculo practico se tiene una relación matemática que esta definida como se determina a continuación.

Cáceres (2007) define que, la carga de molienda puede ser evaluada de forma práctica emparejando el tope de la carga y midiendo rectamente hacia la parte inferior desde la parte superior interna del molino a la superficie (tope) de la carga. Cuando esta distancia Q y el diámetro interior D del molino son identificados, el cálculo del volumen relativo a la carga, mediante método geométricos es bastante complicado. (p.40).

Puede encontrarse por medio de la siguiente ecuación:

$$VP = 1.13 - 1.26 \left[\frac{Q}{D} \right] \quad (1)$$

Donde:

VP: Volumen porcentual.

Q: Distancia del cielo interior a la carga.

D: Diámetro interior.

Para Cáceres (2007), el peso de la carga de molienda puede ser calculado del valor Vp y del diámetro interior D del molino y la longitud L, asumiendo que

una carga de bolas pesa 290 Lbs, por pie cúbico. o bien aproximados 4,65 toneladas cada metro cúbico.(40).

Cáceres (2007) considera que, el volumen de una carga de bolas, no es mayormente incrementada por las partículas de la mena, suponiendo que la mena contiene un suplemento normal de finos, y el tamaño de alimentación fresca F(80) por el que pasa el 80% en peso de la muestra, es menor que 1/5 del diámetro de las bolas más grandes. (Esto se dice que la pulpa mineral entra intersticial en la carga de bolas o que el nivel de pulpa es un 100% de la fracción de huecos de la carga de bolas). (p.41).

2.2.6.2.Velocidad de rotación

En la liberación de los minerales se debe tener en consideración la velocidad de rotación de los molinos para cumplir con los objetivos de la molienda del mineral.

Cáceres (2007) considera que, si se considera una carga dada, la potencia consumida, aumenta casi linealmente con la velocidad y luego decrece a medida que se produce la centrifugación de la carga. La velocidad del molino debe ser menor que aquella en que toda la carga se pega a las paredes, es decir, la velocidad crítica. (p.41).

La cual viene dada por la expresión siguiente:

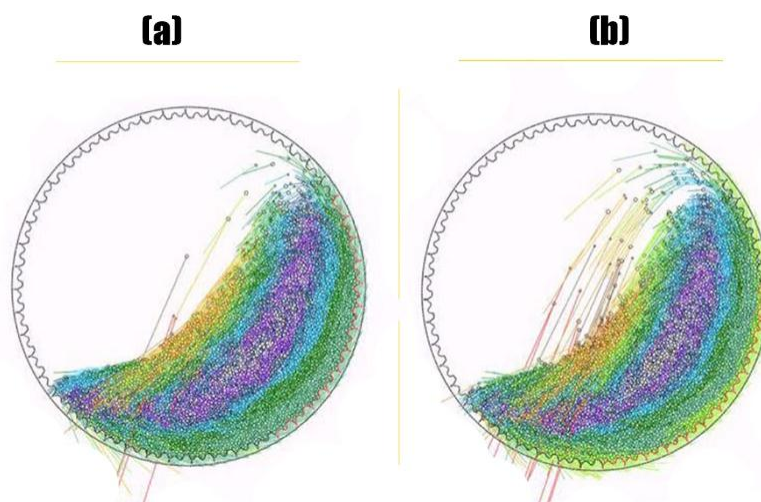
$$V_{CRITICA} = \frac{76,6}{\sqrt{D_i}} \quad (2)$$

Donde:

V crítica: número de revoluciones por minuto. (Límite de velocidad, no deseado).

Di: diámetro interior del molino, en pies.

Figura 5. Velocidad de operación del molino (a,10 rpm) y (b,10.8 rpm).



Nota: Fuente Guzmán (2016) Comportamiento de la carga moledora en la eficiencia de molienda fuente molyCop, (p.17).

2.2.7. Caracterización de la partícula.

Se pueden considerar dos subconjuntos de características de partículas individuales: básico y derivado. Las características básicas representan un conjunto mínimo que, tomadas en conjunto, definen completamente la partícula. Fuerstenau & Han (2009)

Por definición, las características básicas incluyen:

- Tamaño
- Forma
- Composición (química y mineralógica)
- Estructura (monocomponente o compuesta; disposición de las fases constituyentes, incluidos los poros)

Entre los ejemplos de características derivadas se incluyen

- Densidad
- Características ópticas: color, índice de refracción, reflectancia

2.2.7.1. Tamaño de la Partícula.

La distribución de las partículas está basada en el tamaño de liberación del mineral establecidos como dimensión por el tamaño, como se puede describir, es decir, Sepulveda, & Gutierrez (1986).

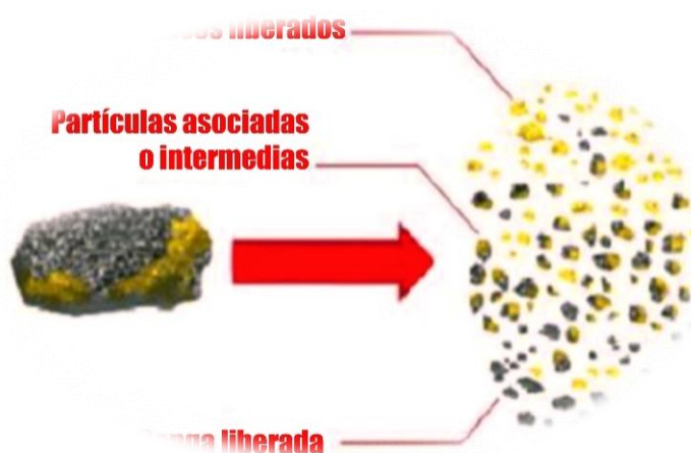
La dimensión de una partícula es una medida específica de su extensión en el espacio. Esta puede ser representada por una dimensión lineal, tal como, por ejemplo, la longitud de una cuerda que cruza la selección proyectada de la partícula desde una posición predeterminada. Dependiendo de la técnica de medición empleada, se puede también caracterizar la dimensión de una partícula en función de su área superficial, su volumen a su masa, siendo posible definir asimismo relaciones de equivalencia entre distintas metodologías. (p. 13).

2.2.7.2.Liberación de la Partícula

La liberación generalmente aumenta conforme las partículas se vuelven más pequeñas. Las partículas pueden ser divididas en diferentes fracciones de tamaño y luego ser vistas en el espectro de liberación para cada fracción de tamaño. Guzmán (2016).

- a. **Liberación Intergranular:** Guzmán (2016) se refiere a la Fractura cuando ésta se efectúa en los contornos de los granos en vez de realizarse a través de los mismos. La Liberación ocurre, por tanto, a aproximadamente el tamaño del grano del mineral, para la cual las partículas se tienen que reducir a un tamaño inferior al tamaño medio del grano (p.2).
- b. **Liberación Trasgranular:** Guzmán (2016), la fractura ocurre a través de los granos, si se aplica la reducción de tamaño adecuado, es posible lograr un alto grado de liberación. Cardoso (p. 2)

Figura 6. Esquema de la liberación de la mena y la ganga.



Nota: Fuente Guzmán (2016) Herramienta para el análisis de proceso de molienda-MolyCop (p.14).

2.2.7.3. Distribución de Granulometría.

La distribución granulométrica es un medio de medir la distribución de las partículas para ver cómo está el grado de liberación, para Sepulveda & Gutierrez (1986)

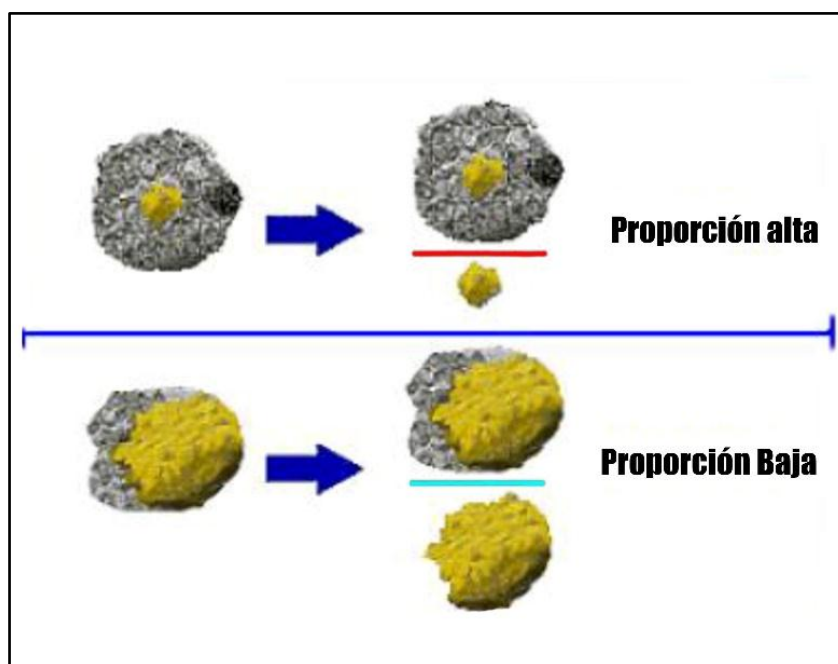
En las diversas fases de conminución del mineral tendientes a liberar las especies de interés de la ganga, se originan partículas de varios tamaños. A objeto de determinar el procedimiento metalúrgico del material en cada operación individual, nace entonces la necesidad de cuantificar el conjunto de partículas de un tamaño dado con respecto al conjunto de partículas en el espécimen, generalmente designada “distribución granulométrica” o “granulometría” del mineral. (pp. 13-14)

2.2.7.4. Grado de Liberación.

El grado de liberación es un medio para ver, en que malla se ha liberado las partículas o en que tamaño los valores de interés se liberan de los otros minerales, es decir,

En el grado de liberación se describe a la proporción de partículas libres de mineral puro con respecto a la cantidad total de ese mineral presente en la mena. Las proporciones de tamaño de partícula grandes dan como resultado una liberación baja por tener demasiados granos de distintos minerales en una sola partícula. Siendo las proporciones de tamaños pequeños de partícula para una buena liberación por tener pocos granos en una sola partícula. Guzmán (2016)

Figura 7. Esquema del grado de liberación de un mineral.



Nota: Fuente Guzmán (2016) Adaptado de Herramienta para el análisis de proceso de molienda-MolyCop. (p.19).

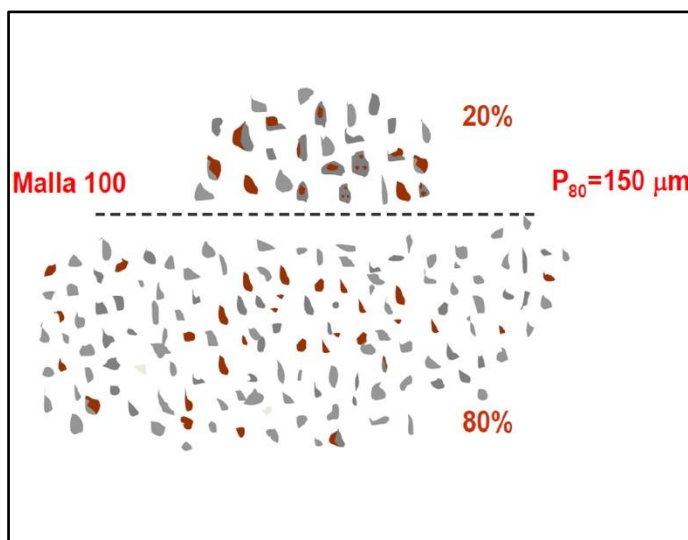
2.2.7.5. Caracterización por Tamizado.

El tamiz es un equipo para clasificar los matriculas en diferentes tamaños donde se podría controlar tiempo, amplitud de vibración es decir que,

El tamizado es una técnica física para separar mezclas de partículas sólidas, “consiste en hacer traspasar una mezcla de partículas sólidas de diversos tamaños por un tamiz. Las partículas de menor dimensión pasan por las mallas

del tamiz y las grandes permanecen retenidas sobre el tamiz”. Echavaudis & Pérez (2017)

Figura 8. Grafico del P_{80} para malla U.S. Standar Sieve 100.



Nota: Fuente Guzmán (2016) Herramienta para el análisis de proceso de molienda-MolyCop (p.18).

2.2.8. Análisis matemático de la distribución de partículas.

En la distribución de las partículas está relacionada matemática por ello es necesario, “ajustar los valores algebraicos específicos. a los datos de distribución de tamaño de partícula. Normalmente, estas funciones tienen dos parámetros que pueden ser ajustado para proporcionar el mejor ajuste a un conjunto de datos experimentales” uerstenau & Han (2009).

Los “valores de los parámetros proporcionan mejores medios, para resumir la distribución real en comparación con el uso de un único tamaño medio. no hay ninguna forma particular, teóricamente, para describir los datos de distribución detalladas”. uerstenau & Han (2009)

2.2.8.1. Función de distribución de Gaudin-Schuhmann.

Dentro de la distribución de malla, para su análisis existen diferentes modelos

matemáticos, pero lo más espáticos es el,

La modelo matemática de distribución de Gaudin-Schuhmann tiene una relación con las distribuciones del tamaño de minerales trituradas. Por lo general, para los tamaños más finos, con alguna desviación en el extremo más grueso de la distribución. Los valores del módulo de distribución, α , estar entre 0.5 y 1.5; y el módulo de tamaño, k_s , depende de la extensión de la molienda. En muchos casos, α parece ser constante para un material dado en una máquina de molienda determinada. uerstenau & Han (2009)

$$Fx = 100 \left(\frac{X}{K} \right)^m \quad (3)$$

Donde:

Fx : Porcentaje en peso acumulado.

X : Abertura de malla, micrones.

K : Tamaños máximos de la distribución, micrones.

m : constante

2.2.8.2. Función de distribución de Rosin–Rammler.

El modelo matemático de distribución de partícula de Rosin-Rammler, da un mejor ajuste para partículas grueso, que la ecuación Gaudin-Schuhmann. Su desventaja en su compleja forma de función de distribución y la necesidad de un papel de ploteo especial. uerstenau & Han (2009)

$$G_{(X)} = 100 \exp^{-\left(\frac{x}{x_r}\right)^a} \quad (4)$$

Donde:

$G_{(x)}$: Porcentaje en peso acumulado retenido.

x : Abertura de malla en micrones.

x_r : Tamaño máximo de la distribución en micrones.

a : Constante.

2.2.8.3. Función de distribución de Log–Normal.

Se podría decir que dentro de los modelos para la distribución existen diferentes modelos matemáticos para nuestro caso sería por lo siguiente,

En la práctica, la distribución logarítmica normal se aplica razonablemente bien a una variedad de partículas. materiales, incluidas las arcillas finas y la molienda fina (<50 μm), polvos no clasificados. Por otra parte, el buen comportamiento de esta distribución le da una ventaja sobre las ecuaciones de Gaudin-Schuhmann y Rosin-Rammler para algunas aplicaciones, aunque estas últimas pueden dar una "mejor" representación de los datos sobre el tamaño de las partículas. uerstenau & Han (2009)

$$q_r(x) = \frac{1}{x(\sqrt{2\pi})\ln\sigma_g} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \ln x_{50,r}}{\ln\sigma_g} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Donde:

σ_g : La desviación estándar geométrica.

$x_{50,r}$: El tamaño mediano (a veces definido como el tamaño geométrico medio).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

- a. **Abrasión:** Fuerstenau & Han (2009) define que es, “desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de materiales extraños, o partículas metálicas en el lubricante”.
- b. **Alimentación:** Mineral que ingresa al molino con una granulometría de 5 hasta ¼ de pulga con la finalidad de fragmentar finamente. Taggart (1966)
- c. **Conminución:** Proceso de disminuir rocas de gran tamaño de mineral a arenas, usando chancadora y/o molinos. Sepulveda, & Gutierrez. (1986)
- d. **Densidad de pulpa:** Viene ser el peso de pulpa (mineral más agua) respecto su volumen correspondiente. Metso Minerals (2005)
- e. **Distribución granulométrica:** Procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Sepulveda, & Gutierrez (1986).
- f. **Especie mineralógica:** es el elemento que constituye parte del mineral para la extracción del metal. Estudios Mineros del Perú S.A.C (s/f)
- g. **Granulometría:** Termino que se usa en el tamaño de partículas. Taggart (1966)
- h. **Liberación:** Es el proceso de conminución para separar especie mineralógica de la ganga por acción de la chancado o molienda. Maurice & Kenneth (2005)
- i. **Mineral:** Es la especie constituido por minas y gangas, en el caso de la mena tiene valor comercial. Taggart (1966)
- j. **Molienda:** Término empleado para determinar el conjunto de técnicas relativas a la reducción volumétrica de cuerpos sólidos. Cristobal & Huatuco (s/f)

- k. Molino:** Cilindro de acero que tiene por finalidad realizar la operación de liberación de minerales. Coexisten en la actualidad diversos tipos según sus aplicaciones. Sepulveda, & Gutierrez (1986)
- l. Partícula:** Es una parte muy pequeña del mineral con dimensiones y cuerpo al cual pueden ser atribuidas varias propiedades físicas y químicas tales como un volumen o una masa. Taggart (1966).
- m. Pulpa:** Está compuesto de mineral más agua, con una dilución del mineral y el agua; que tienen propiedades físicas propias tales como gravedad específica, peso, volumen densidad, etc. Bravo (2003)
- n. Roca:** Se denomina al “material duro que forma la corteza terrestre y que está compuesta de uno o más minerales. Portal Minero” (2006)
- o. Revestimientos:** Es los recubrimientos internos del molino, fabricados de acero al cromo o manganeso. Sepulveda, & Gutierrez (1986)
- p. Tamiz:** Es una malla que son fabricados con alambres de acero o de aleaciones especiales, los que se tejen formando una red cuadrangular de agujeros de diversas dimensiones y cuidadosamente normalizadas. Metso Minerals (2005)
- q. Tolvas:** Son los depósitos para depositar el material resultante de las chancadoras. Su capacidad esta expresada en toneladas. Sepulveda, & Gutierrez (1986)
- r. Trituración:** Proceso para disminuir el mineral de tamaño grande a fragmentos de rocas por medio de la chancadora. Sutulov (1963)
- s. Velocidad crítica:** Es la velocidad de rotación a la cual los medios de molienda se adhieren al casco del molino, no produciendo molienda por impacto ni por deslizamiento. Cáceres (2007)

2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

2.4.1. Hipótesis General.

Mediante la estimación de aptitud en la molienda de minerales mixto, nos permitirá determinar condiciones operacionales óptimas para liberación de oro a nivel experimental de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A – 2018.

2.4.2. Hipótesis Específicas.

- Con un control adecuado de la velocidad de operación en la molienda, nos permitirá obtener una liberación eficiente del mineral.
- Teniendo un control de la carga moledora adecuada en el molino, nos permitirá obtener la liberación óptima de las especies mineralizadas.
- Con unas variaciones en el tiempo de la molienda, nos permitirá relacionar con la liberación del mineral.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Tipo de investigación.

El estudio realizado es una investigación de tipo experimental básica, ya que se evaluarán a base a los parámetros y variables que influyen en el área de molienda de en función de los objetivos planteados en la investigación, que servirán como base para los subsiguientemente se podrán ajustar en los procesos pilotaje e industrial.

3.1.2. Enfoque de la investigación.

Es una investigación cuantitativa porque se cuantificará los elementos de ingreso al molino de bolas y el producto de la molienda.

De acuerdo su característica: Análisis de causa - efecto.

De acuerdo su proceso: Probatorio.

De acuerdo a sus bondades: Generalización de resultados.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

Respecto a la población será representada por el mineral que se localiza en el acopio del mineral proveniente de las minas de la empresa MACDESA.

3.2.2. Muestra.

El espécimen para él estudio se sacó del acopio de mineral de la planta de procesos en base a esto se efectuará el trabajo experimental para su posterior aplicación en la planta de procesos de la empresa MACDESA.

3.2.3. Tamaño de muestra.

Estaba representado por el mineral extraída de los lotes de la cancha de mineral, esto se sacó aproximadamente 30 kg de mineral, luego se preparó el mineral, reducción por medio de la chancadora, clasificación a malla 10m, los gruesos retornado a la chancadora y los finos, se pasó para cuartear y sacar las muestras de un kilogramo para las pruebas respectivas.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.

Tabla 2. Clasificación de las Variables en estudio.

Variables	Concepto	Dimensión	Indicadores
Independiente			
Aptitud en la molienda	Evaluar los elementos operacionales que intervienen para un proceso de molienda óptimo.	Condiciones que influyen en el proceso de molienda.	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de operación: Es la velocidad de rotación que permite moler. • Tiempo de Molienda: Es lo que se demora el mineral en salir del molino después de ingresar. • Carga Moledora: Es el elemento que tritura al mineral.
	Liberación de oro	Establecer los límites máximos y mínimos para que el producto de liberación sean los adecuados.	Medición de parámetros de control.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.4.1. Técnicas a Emplear.

- a. **Observación sistemática Directa:** Se empleó esta técnica para observar los acontecimientos que ocurrió en la molienda experimental en la investigación realizada.
- b. **Observación Sistemática Indirecta:** Se empleo esta técnica para recopilar la información y su posterior analizar y estudiar los diversos documentos que nos permitió estructurar el plan y en informe.
- c. **Observación experimental:** Se empleo esta técnica con la finalidad conocer los procedimientos para realizar la molienda del mineral de acuerdo los objetivos y su recopilación de los resultados de la parte experimental.

3.4.2. Descripción de los Instrumentos.

Se emplearon los siguientes instrumentos con la finalidad de recopilar información de la parte experimentales.

- | | |
|--|--|
| a. Ficha de observación, para extraer la información experimental. | c. Equipo para grabar video, fotos, grabadora, para registrar los acontecimientos. |
| b. Sucesiones libreta de notas, para la anotación de los datos. | d. Computadora para procesar de datos. |

3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Respecto a las técnicas para el procesar la información obtenidos de la parte experimental se empleó programa de cálculo el Excel y Molycop versión 3.0, con ello se obtuvieron tablas y gráficos.

CAPITULO IV

CONDICIONES Y RESULTADOS DE LA PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Condiciones para el trabajo experimental.

Para realizar el presente trabajo experimental se cuenta con un molino 8"x8" para laboratorio con un control numérico para regular la velocidad deseada el mineral para el presente estudio se tiene aproximadamente 200 kilos de los cuales se cuartearon a un kilo para el presente estudio.

Tabla 3 Equipos y accesorios

EQUIPOS Y ACCESORIOS	CARACTERÍSTICA
Molino	8"x8"
Control numérico	Variador de velocidad
Rotap	Programable tiempo, amplitud
Malla	10, 35, 65, 100, 150, 170, 200
Estufa	Hasta 300°C

4.2. Resultados.

4.2.1. Velocidad de operación y su liberación.

Los resultados y los análisis de las pruebas experimentales en un molino de 8"x8" para un tiempo de 10 minutos y una carga de 11 kilos de bolas se tiene describen a continuación.

a. Resultados de las moliendas en función a la velocidad de operación.

La liberación del mineral pasante a la malla 200 en función de la velocidad de operación a nivel laboratorio en un molino de 8'x8' en un espacio de 10 minutos y 11 kilos de medio moledora, se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4 Resultado del %-200m en la velocidad de operación

% Vc	Velocidad Operación (rpm)	%-200m
50	46,92	63,38
60	56,30	64,78
70	65,69	78,45
80	75,07	79,54
90	84,46	85,64

Nota: procesado en Excel los datos obtenidos a nivel laboratorio.

De la tabla 4 la liberación pasante a la malla 200 se tiene que para 50% de la velocidad crítica se tiene 63,38% pasante a la malla 200, mientras que para 60% se tiene 64,78% pasante a la malla 200, para 70% se tiene 78,45%, para 80% se tiene 79,54% y para 90% de la velocidad crítica de 85,64%.

b. Análisis de regresión: %-200m vs. %Vc

Tabla 5 Análisis de Varianza %-200m vs %Vc

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	351,41	351,41	33,23	0,010
%Vc	1	351,41	351,41	33,23	0,010
Error	3	31,72	10,57		
Total	4	383,14			

De la tabla 5 en el análisis de varianza para una confiabilidad de 95% se tiene el valor de p 0,010 para la regresión y 0,010 para él %Vc, que es menor al valor del 0,05.

Tabla 6 Resumen del modelo %-200m vs %Vc

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3,25186	91,72%	88,96%	83,98%

En la tabla 6 la desviación estándar para la velocidad crítica en la liberación es de 3,25186 R² de 9172%, el ajustado de 88,96% y el proyectado de 83,98%.

Tabla 7 Coeficientes %-200m vs %Vc

Término	Coef	EE del		Valor T	Valor p	FIV
		coef.				
Constante	32,86	7,34		4,47	0,021	
%Vc	0,593	0,103		5,76	0,010	1,00

De la tabla 7 para $\alpha=0,05$ tiene significancia, ya que t student es mayor que 2,6, en este caso es de 5,76, para el porcentaje de velocidad crítica y el valor de p 0,010 es menor que 0,05.

La liberación del mineral pasante a la malla 200 está relacionado matemáticamente la siguiente, ecuación de regresión.

$$\% -200m = 32,86 + 0,593 \% Vc$$

4.2.2. Porcentaje de carga y liberación de mineral.

Los resultados y los análisis de las pruebas experimentales en un molino de 8'x8' para un tiempo de 10 minutos y el porcentaje de la velocidad critica de 90% se tiene describen a continuación.

a. Resultados de las moliendas en función a la carga moledora.

El resultado de la liberación pasante a la malla 200m en función al porcentaje de la carga moledora se tiene en la tabla 8.

Tabla 8 Resultado de porcentaje de carga moledora y la liberación

% Volumen molino	%	%Cw	Cw cm ³	Cw kg	%-200m
45	50	22,50	1482,67	11,64	58,74
45	55	24,75	1630,93	12,80	62,21
45	62	27,90	1838,51	14,43	69,87
45	65	29,25	1927,47	15,13	75,75
45	70	31,50	2075,73	16,29	79,54

En la tabla 8 se detalla la liberación pasante a la malla 200, para 22,50% de la carga moledora se tiene 58,74%, para 24,75% se tiene 62.21%, para 27,9% se tiene 69,87%, para 29,25% se tiene 75,75% y para 31,50% se tiene 79,54% pasante a la malla 200.

b. Análisis de regresión: %-200m vs. %Cw

Tabla 9 Análisis de Varianza %-200m vs. %Cw

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	303,028	303,028	165,05	0,001
%Cw	1	303,028	303,028	165,05	0,001
Error	3	5,508	1,836		
Total	4	308,536			

De la tabla 9 en el análisis de varianza de la liberación pasante a la malla 200 en función de la carga moledora, para una confiabilidad de 95% se tiene el valor de p 0,001 para la regresión y 0,001 para el %Cw que es menor al valor del 0,05.

Tabla 10 Resumen del modelo %-200m vs %Cw

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,35498	98,21%	97,62%	95,19%

En la tabla 10 la desviación estándar para la carga moledora en la liberación es de 1,35498 R² de 98,21%, el ajustado de 97,62% y el proyectado de 95,19%.

Tabla 11 Coeficientes de %-200m vs %Cw

	EE del				
Término	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	3,15	5,18	0,61	0,586	
%Cw	2,431	0,189	12,85	0,001	1,00

De la tabla 11 para $\alpha=0,05$ tiene significancia, ya que t student es mayor que 2,6, en este caso es de 12,85 para la carga moledora y el valor de p 0,001 menor que 0,05.

La liberación del mineral pasante a la malla 200 en función de la carga moledora está relacionado matemáticamente la siguiente ecuación de regresión

$$\%-200m = 3,15 + 2,431 \%Cw$$

4.2.3. Tiempo liberación de carga de mineral

Los resultados y los análisis de las pruebas experimentales en un molino de 8'x8' para una carga de bolas de 11 kg y el porcentaje de la velocidad crítica de 90% se tiene describen a continuación.

a. Resultados de las moliendas en función al tiempo.

El resultado de la liberación pasante a la malla 200m en función al tiempo se tiene en la tabla 12.

Tabla 12 Liberación pasante a malla 200 en el tiempo

Tiempo min	%-200m
0,0	45,58
4,0	60,45
8,0	67,74
12,0	75,10
16,0	84,12

Nota: procesada en Excel con datos experimentales

En la tabla 12 se tiene para un tiempo de 0 minutos el 45,58% pasante a la malla 200, para un tiempo de 4 minutos de 60,45%, para 8 minutos de 67,74%, para 12 minutos de 75,10% y para 16 minutos de 84,12%.

a. Análisis de regresión: %-200m vs. Tiempo min

Tabla 13 Análisis de Varianza %-200m vs. Tiempo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	841,26	841,256	134,59	0,001
Tiempo min	1	841,26	841,256	134,59	0,001
Error	3	18,75	6,250		
Total	4	860,01			

De la tabla 13 en el análisis de varianza de la liberación pasante a la malla 200 en función de tiempo, para una confiabilidad de 95% se tiene el valor de p 0,001 para la regresión y 0,001 para el tiempo que es menor al valor del 0,05.

Tabla 14 Resumen del modelo %-200m vs. Tiempo

	R-cuad.	R-cuad.		
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)	
2,50010	97,82%	97,09%	91,79%	

En la tabla 14 la desviación estándar para tiempo en la liberación es de 2,5001, R^2 de 97,82%, el ajustado de 97,09% y el proyectado de 91,79%.

Tabla 15 Coeficientes %-200m vs. Tiempo

	EE del				
Término	Coef	coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	48,25	1,94	24,92	0,000	
Tiempo min	2,293	0,198	11,60	0,001	1,00

De la tabla 15 para $\alpha=0,05$ tiene significancia, ya que t student es mayor que 2,6, en este caso es de 11,6 para el tiempo de molienda y el valor de p 0,001 menor que 0,05.

La liberación del mineral pasante a la malla 200 en función del tiempo está relacionado matemáticamente la siguiente Ecuación de regresión

$$\% -200m = 48,25 + 2,293 \text{ Tiempo min}$$

CAPITULO V

DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusiones.

En el estudio sobre, aptitud en la molienda de minerales mixto para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa MACDESA – 2018, partiendo desde mineral pasante a malla 10, se pueden determinar en función a los objetivos lo siguiente.

En la velocidad de operación para la liberación para un tiempo de 10 minutos y una carga de bola de 11 kilos en un molino de 8"x8" se tiene que para una confiabilidad del 95% tiene una varianza significativa ya que p calculada es de 0,010 para la regresión y 0,010 para %Vc, siendo menor que el valor de 0,05, con una desviación estándar de 3,25186 R^2 del 91,72%, teniendo un valor de significancia de 5,76 para la velocidad de operación, siendo mayor a 2,6 un error de $\alpha=0,05$. Para el porcentaje de la carga moledora para la liberación, en un tiempo de 10 minutos y 90% de la velocidad crítica, en un molino de 8"x8", para una confiabilidad del 95% tiene una varianza significativa ya que p calculada es de 0,001 para la regresión y 0,001 para %Cw, siendo menor que el valor de 0,05, con una desviación estándar de 1,35498 R^2 del 98,21%, teniendo un valor de significancia de 12.85 para la velocidad de operación, siendo mayor a 2,6 un error de $\alpha=0,05$.

Para el tiempo de molienda y la carga moledora para la liberación, con una carga moledora de 11 kilos y 90% de la velocidad crítica, en un molino de 8"x8", para una confiabilidad del 95% tiene una varianza significativa ya que p calculada es de 0.001 para la regresión y 0,001 para él tiempo, siendo menor que el valor de 0,05, con una desviación estándar de 2,5001 R^2 del 97,82%, teniendo un valor de significancia de 11,60 para tiempo de operación, siendo el valor mayor a 2,6, para $\alpha=0,05$.

Castillo (2014), concluye que, "optimizar los parámetros mencionados en el informe nos permitirá aumentar el grado de liberación de tal manera que de 48% -m200 se pueda llegar a

55%-malla200 y mejorar la calidad y recuperación”. Echavaudis & Perez (2017), concluye que, “existe un tamaño óptimo de partícula de mineral de sulfuro de plomo, que se libera en la molienda comprendidos entre 4 y 16 minutos, cuyo valor se da en la malla -100. Con el tiempo va en aumento”.

Zumaran (2017), concluye que, “el aumento de bolas pequeñas en la distribución incrementó el % pasante malla 200, y las bolas más grandes ofrecen mayor probabilidad de rotura por impacto y las bolas más pequeñas una mayor probabilidad de rotura por abrasión”. Bernedo (2015), concluye que, “el incremento del nivel de llenado de bolas incrementa el P80, opuesto con la variación del porcentaje de velocidad crítica, y aumenta la potencia del molino, que afecta en la potencia del molino que las variables de operación estudiadas”. Wasmuth (1970), concluye que, “en la molienda y clasificación, se debe mantener algunas variables de operación estandarizadas como las densidades de pulpa estables. Alimentación de mineral constante como características físicas y químicas similares, la cantidad de agua adecuada, los equipos en buen estado”.

5.2. Conclusiones.

En el estudio realizado a nivel experimental sobre, aptitud en la molienda de minerales mixto para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa MACDESA – 2018 se llegaron a las siguientes conclusiones:

Para la velocidad de operación en 10 minutos y 11 kilos de medio moledora mayor liberación, se tiene con 90% de su velocidad crítica, el 85,64% pasante a la malla 200, para una confiabilidad del 95% obteniéndose que el valor p es 0,010 para la regresión y 0,010 para el porcentaje de velocidad critica siendo menor a valor α 0,05, con un coeficiente de correlación de 0,9577 (R^2 91,72%) con una variación estándar de 3,25186 y una significancia de 5,76 para la el porcentaje de velocidad critica cuando valor α 0,05 que es mayor a 2,6.

Para la carga moledora, en 10 minutos y 90% de su velocidad crítica se tiene con 79,54% pasante a la malla 200 para 31,30% Cw, con una confiabilidad del 95% obteniéndose que el valor p es 0,001 para la regresión y 0,001 para el porcentaje de la carga moledora siendo menor a valor α 0,05, con un coeficiente de correlación de 0,9910 (R^2 98.21%) con una variación estándar de 1,35498 y una significancia de 12,85 para la el porcentaje de carga moledora cuando valor α 0,05 que es mayor a 2,6.

Para la tiempo molienda con 90% de su velocidad crítica y 11 kilos de carga moledora se tiene con 84,12% pasante a la malla 200 para 16 minutos, con una confiabilidad del 95% obteniéndose que el valor p es 0,001 para la regresión y 0,001 para el tiempo de molienda siendo menor a valor α 0,05, con un coeficiente de correlación de 0,9890 (R^2 97,82%) con una variación estándar de 2,5001 y una significancia de 11,60 para el tiempo de molienda cuando el valor α 0,05 que es mayor a 2,6.

5.3. Recomendaciones.

En el estudio sobre, aptitud en la molienda de minerales mixto para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa MACDESA – 2018, se recomienda los siguientes estudios a realizar:

Realizar un estudio sobre diseño factorial de la molienda en función de la carga moledora velocidad crítica para confirmar la significancia de los factores que intervienen en el proceso de la liberación del mineral, ya que el 45% de consumo de energía se gasta en el proceso de molienda.

Realizar la molienda con un estudio mineralógico para ver a que malla se realiza la liberación de los valores de interés en este caso el oro y su asociación con otros minerales. Realizar estudio para delimitar la carga moledora, ya que a mayor carga aumenta el consumo de energía por ellos es necesario realizar dichas pruebas.

CAPITULO V

FUENTES DE INFORMACIÓN

5.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.

- Barrios, G. (2015). *Optimización del los sistemas de control de un molino de bolas*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Bernedo, L. E. (2015). *Estudio de la influencia de la velocidad crítica y nivel de llenado, en la molienda de un mineral cuprífero a través de simulación de procesos*. Obtenido de Universidad nacional de san agustin.
- Bravo, A. (2003). *Manual de Molienda y clasificación*. Casapalca, Perú.
- Cáceres, J. (2007). *Metalurgica extractiva*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Aconcagua.
- Cárcamo, H. (2003). *Operaciones Mecánicas*. Antofagasta, Chile: Universidad Católica del Norte.
- Cardoso, G. (s.f.). Granulometría de la liberación de pirita aurifera. *VI SIMPOSIUM DE MINERIA AURIFERA*, (pp. 1-16).
- Caseres, J. (s/f). *Metalurgia Extractiva*. Santiago, Perú: Universidad de Aconcagua.
- Castillo, R. (2014). *optimización de parámetros que influyen en la sección de molienda-clasificación y flotación Zn*. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería.
- Echavaudis, E., & Perez, Y. (2017). *Determinación del tamaño de partícula optima en molienda para la concentracion por flotación de sulfuro de plomo a partir de un mineral polimetálico*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Echavaudis, E., & Perez, Y. (2017). *Determinación del tamaño de partícula óptima en molienda para la concentración por flotación de sulfuro de plomo a partir de un mineral polimetálico*. Obtenido de Universidad del Centro del Perú.
- Egas, A. (1985). *Evaluación de Plantas Concentradoras*. Lima.
- Estudios Mineros del Perú S.A.C. (s/f). *Manual de Minería*. Lima.
- Fuerstenau, M., & Han, K. (2009). *Principles of Mineral processing*. Colorado, USA: Electronic edition.
- Guzmán, L. (2016). Principios y operación de molienda semiautogena – Molycop., (p. 144). Lima.
- Maurice, C., & Kenneth, N. (2005). *Principles of mineral processing*. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

- Metso Minerals. (2005). *Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales*.
- Porras, L. (2016). *Estudio del consumo de energía en molienda húmeda de un mineral considerando reología de suspensiones*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Portal Minero. (2006). *Manual general de minería y metalurgia*. Santiago, Chile: Servicios de Impresión Laser S.A.
- Portal Minero. (2006). *Manual general de minería y metalurgia*. Chile.
- Romero, A., Flores, S., & Arévalo, W. (2009). Análisis granulométrico para la producción de industrial del cobre a partir de la calcopirita. *Facultad de Ingeniería Industrial*, (pp.21-26).
- Sepulveda, J., & Gutierrez, L. (1986). *Dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática*. Santiago, Chile: Impresos Verman.
- Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción: Instituto de investigación tecnológicas.
- Taggart, A. (1966). *Elementos de preparación de minerales*. (J. Gonzalez, Trad.) Madrid.
- Turpo, M. (2018). *Diseño y simulación de manipulador para forros de acero aplicados en molinos convencionales*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Vargas, J. (2010). Obtenido de Escuela superior politecnica del litoral.
- Wasmuth, D. (1970). *En la determinación de la aptitud a la molienda y del consumo específico de energía según el ensayo de Bond para la molienda de minerales y rocas*.
- Zumaran, D. (2017). *evaluación de la influencia de las variables en la distribución granulométrica del producto de molienda por bolas de minerales mediante diseños experimentales*. Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín.

ANEXOS

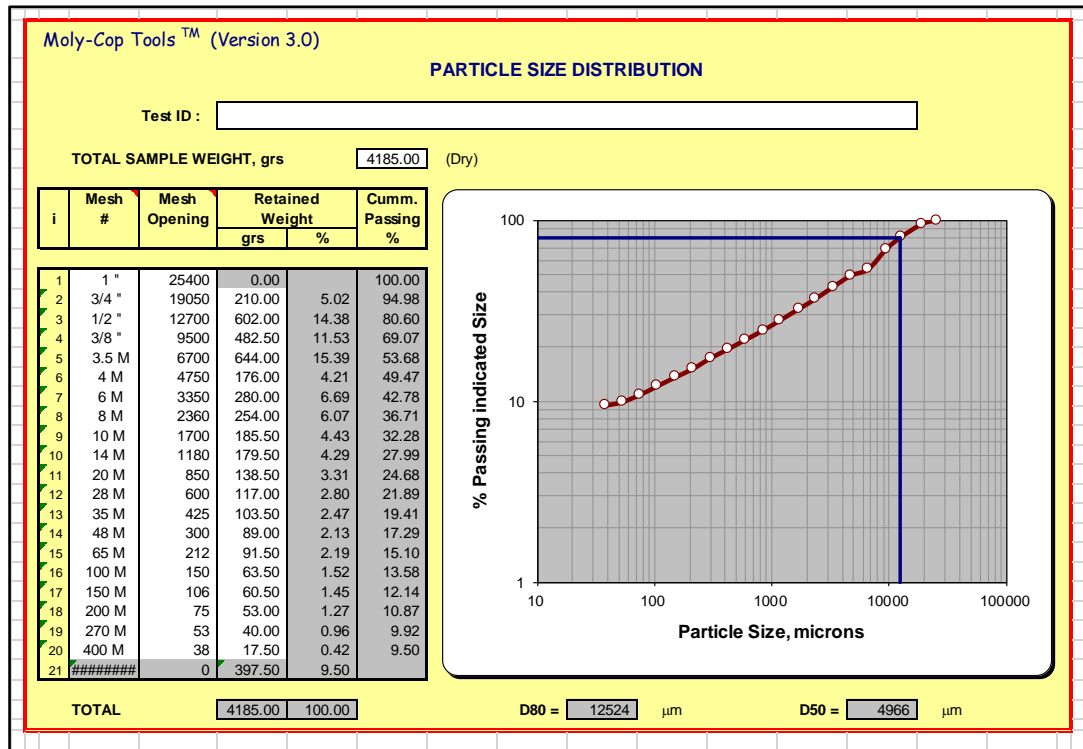
Anexo 1: Matriz Consistencia General.

Título	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores
APTITUD EN LA MOLIENDA DE MINERALES MIXTO PARA LA LIBERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL DE LA EMPRESA MACDESA - 2018.	Generales	General	General	Independiente	
	¿En qué medida se relaciona la aptitud en la molienda de minerales mixto, para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A - 2018?	Evaluación de la aptitud en la molienda de minerales mixto, para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A - 2018.	Mediante la estimación de la aptitud en la molienda de minerales mixto, nos permitirá determinar condiciones operacionales óptimas para la liberación de oro a nivel experimental de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A - 2018.	APTITUD EN LA MOLIENDA	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de liberación. - Tamaño de Liberación. - Liberación de especies mineralizadas.

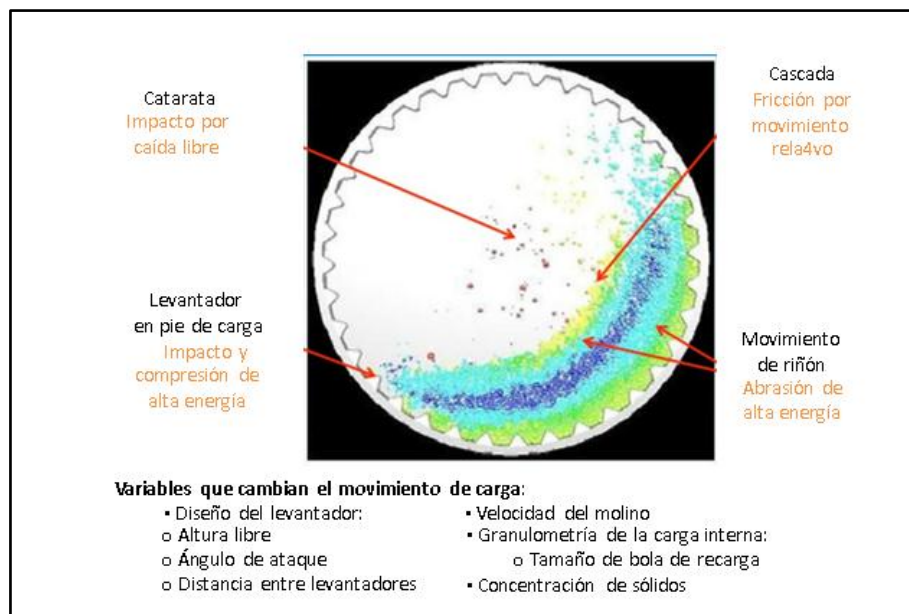
Anexo 2: Matriz Consistencia Específico.

Titulo	Específicos		Variable	Indicadores	
	Problema	Objetivos	Hipótesis	Dependiente	
APTITUD EN LA MOLIENDA DE MINERALES MIXTO PARA LA LIBERACIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL DE LA EMPRESA MACDESA - 2018.	- ¿Será posible con un control adecuado de la velocidad de operación en la molienda, nos permita obtener una liberación eficiente del mineral?	- Evaluar en qué medida el control de la velocidad de operación en la molienda, nos permita obtener una liberación eficiente del mineral.	- Realizando un control adecuado de la velocidad de operación en la molienda, nos permitirá obtener una liberación eficiente del mineral.	- Eficiencia de liberación.	
	- ¿En qué medida una carga moledora adecuada al molino, nos permitirá obtener la liberación optima de las especies mineralizadas?	- Evaluar en qué medida una carga moledora adecuada al molino, nos permitirá obtener la liberación optima de las especies mineralizadas.	- Realizando un control de la carga moledora adecuada al molino, nos permitirá obtener la liberación optima de las especies mineralizadas.	Liberación de oro	- Tamaño de Liberación.
	- ¿Cómo el control de tiempo de molienda, se relaciona con el tamaño de liberación del mineral?	- Evaluar cómo el tiempo de molienda, se relaciona con la liberación del mineral.	- Realizando variaciones en el tiempo de molienda, se relacionará con la liberación del mineral.		- Liberación de especies mineralizadas.

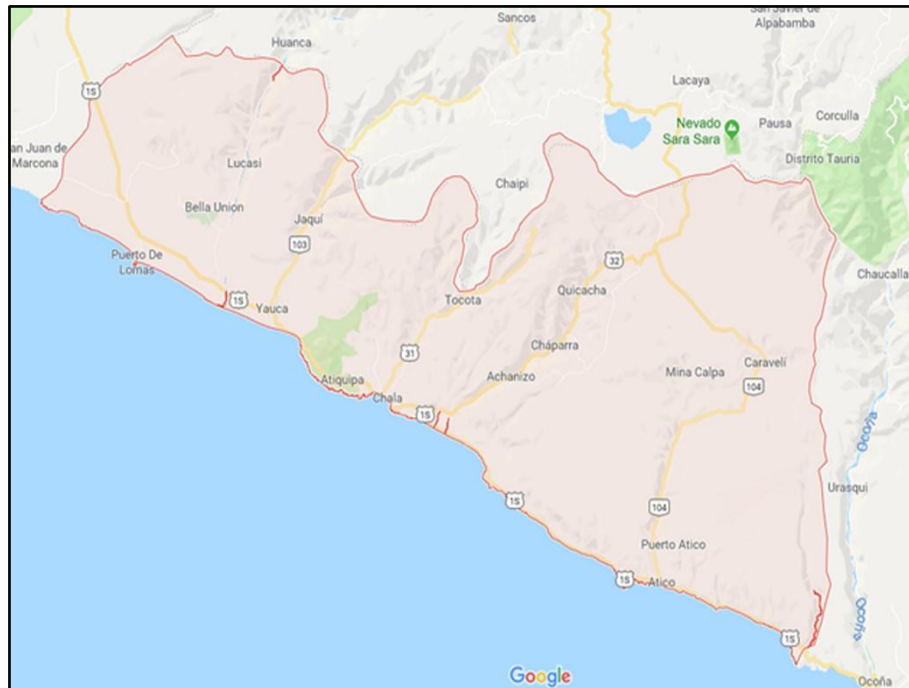
Anexo 5: Instrumento para la toma de datos.



Anexo 6. Variables que cambian el movimiento de carga.



Anexo 7: Provincia de Caravelí - Arequipa.



Anexo 8: Centro Poblado Cuatro Horas - Cháparra.



Anexo 9: Tiempo de molienda 4 minutos

MALLA	x (micrones) (μ)	Peso g	f(x)	G(x) %	F(x) %
35	500	10,95	4,38	4,38	95,62
65	212	16,48	6,59	10,97	89,03
100	150	26,7	10,68	21,65	78,35
150	106	23,91	9,56	31,22	68,78
170	90	19,95	7,98	39,20	60,80
200	74	0,88	0,35	39,55	60,45
-200	-74	151,13	60,45	100,00	0,00

Anexo 10: Tiempo de molienda 8 minutos

MALLA	x (micrones) (μ)	Peso g	f(x)	G(x) %	F(x) %
35	500	5,47	2,19	2,19	97,81
65	212	9,86	3,94	6,13	93,87
100	150	22,32	8,93	15,06	84,94
150	106	21,92	8,77	23,83	76,17
170	90	19,9	7,96	31,79	68,21
200	74	1,17	0,47	32,26	67,74
-200	-74	169,36	67,74	100,00	0,00

Anexo 11: Tiempo de molienda 12 minutos

MALLA	x (micrones)	Peso	f(x)	G(x)	F(x)
	(μ)	g		%	%
35	500	1,92	0,77	0,77	99,23
65	212	3,6	1,44	2,21	97,79
100	150	14,61	5,84	8,05	91,95
150	106	20,8	8,32	16,37	83,63
170	90	20,8	8,32	24,69	75,31
200	74	0,52	0,21	24,90	75,10
-200	-74	187,75	75,10	100,00	0,00

Anexo 12: Tiempo de molienda 16 minutos

MALLA	x (micrones)	Peso	f(x)	G(x)	F(x)
	(μ)	g		%	%
35	500	0,58	0,23	0,23	99,77
65	212	0,95	0,38	0,61	99,39
100	150	6,63	2,65	3,26	96,74
150	106	14,15	5,66	8,92	91,08
170	90	16,97	6,79	15,71	84,29
200	74	0,43	0,17	15,88	84,12
-200	-74	210,29	84,12	100,00	0,00

Anexo 13: moliendabilidad

Tiempo (min)	%<200m
0	45,58
8	60,45
10	67,74
15	75,10
20	84,12

Anexo 14: Curva de moliendabilidad